

HOIDETTU VILJEMÄTÖN PELTO BIOKAASUKSI – biomassan sopivuus syötteenä ja korjuun vaikutukset tukiohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseen

HVP-BIOKAASUKSI
MAKERA: Dnro 2619/312/2009

“Managed uncultivated arable fields as a feed source for biogas plants – suitability and effect of meeting the objectives of the support programme”

Oiva Niemeläinen, Terho Hyvönen, Lauri Jauhiainen, Timo Lötjönen, Elina Virkkunen ja Jaana Uusi-Kämpä.

LOPPURAPORTTI
Jokioisilla 28.2.2014



Jokioisilla 28.2.2014
MTT Kasvintuotannon tutkimus
MTT Planta
31600 Jokioinen

ESIPUHE

Suomessa oli vuonna 2013 luonnonhoitopeltoja 141 916 ha ja viherkesantoja 45 274 ha. Näistä hoidettu viljelemätön peltö (HVP) luokkiin kuuluvista käyttöluokista tutkimus kohdistui viherkesantoihin ja luonnonhoitopelloista kategoriaan ”monivuotiset nurmipellot” (124 500 ha). Lisäksi tutkittiin suojavyöhykenurmia (7 371 ha). Hankkeessa haettiin kasvustonäytteitä maatilolta, tehtiin kenttäkokeita, laboratorioanalyyskejä ja metaanintuottopotentiaalin mittaamista laboratorio-olosuhteissa ja pilottomittakaavan laitteistolla sekä kirjallistutkimus sadonkorjuukustannuksista.

Yli 60 prosenttia pinta-alasta muodostuu kooltaan suurimman kvartaalin (vähintään 1,45 ha) lohkoista. Monivuotisilta nurmipelloilta pinta-alakertymä oli yli 78 000 ha ja viherkesannolta yli 27 000 ha eli yhteensä runsaat 105 000 ha. Yksittäisellä viljelijällä on LHP-nurmea ja viherkesantoalaa yhteensä keskimäärin 3,9 ha. Maatiloilta kerättyjen kasvustonäytteiden perustella lohkojen keskisato oli 4,99 t ka ha⁻¹. Sadon määrä vaihteli voimakkaasti. Näytteen niittoajankohta, pellon käyttökategoria tai lohkon ravinteisuus eivät vaikuttaneet merkittävästi biomassan määrään. Myöskään lohkon ikä nurmiviljelyssä tai botaaninen koostumus eivät selittäneet sadon vaihtelua, mutta vuosi vaikutti merkittävästi. Eteläiseltä alueelta saatiin suurempi sato kuin pohjoiselta. Kenttäkokeissa yhdellä niitolla saatiin timotei-puna-apilasta keskimäärin 7,1 t ka ha⁻¹ sato. Se oli 80-90 prosenttia kahden niiton kokonaissadosta. Puna-apilan täydennys suorakylvönä HVP-nurmeen lisäsi satoja yli kaksinkertaiseksi. Se lisäsi myös nurmea seuraavan viljan satoa. Maatilanäytteiden metaanintuottopotentiaali oli keskimäärin 255 CH₄ m³ t ka⁻¹ ja energiasato 12,7 MWh ha⁻¹. Kenttäkokeissa timotei-puna-apila -kasvustojen energiasato oli 21,2 MWh ha⁻¹.

Myöhään kasvukaudella niitetyssä kasvustossa jälkikasvuun jää vähiten huuhtoutumiselle alttiita ravinteita talveksi. Niitetty sato olisi korjattava pois. Pintamaan fosforipitoisuus oli korkeampi kuin muokkauskerroksen fosforipitoisuus. Kasvilajiston monimuotoisuuden selvityksessä löydettiin yhteensä 174 kasvilajia. Siemenpankista löydettiin 34 lajia. Yleisimpiä lajeja olivat monivuotiset timotei, nurmiröllä, voikukka, rönssyleinikki ja hiirenvirna. Kasvien lajimäärää oli sitä korkeampi mitä vanhempi oli tutkitun peltolohkon kasvusto. Lajimäärää oli puolestaan sitä alhaisempi, mitä korkeampi heinien biomassassa oli lohkolta. HVP-lohkoista on hyötyä kasvilajiston monimuotoisuudelle. HVP-lohkoilla ei ole suurta merkitystä haitallisten vieraskasvien leviämisseitinnä.

Suuntaa antavassa biokaasulaitoksen kannattavuusselvityksessä (500 kW:n sähköteho ja 1 MW lämpöteho) kannattavuuden saavuttaminen on haasteelliselta, mutta ei aivan mahdotonta. Lämpö olisi saatava myytyä täysimääräisesti, heinälle ei voida maksaa kantohintaa, ja korjuu- ja varastointikustannukset on saatava 55 e/ton ka tuntumaan. Biomassan saatavuuden hahmottamiseen kehitettiin MAVIn peltolohkokisterin tietoja hyödyntävä laskentamalli.

Jos sato korjattaisiin vain suurimmilta viherkesanto ja monivuotisilta LHP- nurmipelloilta sekä suojavyöhykealalta, energiasato olisi nykykasvustoista noin 1,4 TWh. Perustamalla kasvusto palkokasviseoksella voitaisiin viherkesanto- ja LHP-nurmilla, tuottaa suurempia hehtaarisatoja ja vastaavasti alalta saatava kokonaisenergieasato olisi suurempi. Ne HVP-lohkot, jotka eivät pienen koon vuoksi sovellu tehokkaaseen korjuuseen voitaisiin kohdentaa edistämään peltoviljelyn monimuotoisuutta.

Viljelijöiden voisi olla perusteltua luopua HVP-heinästä ilmaiseksi, jos biokaasulaitos hoitaisi korjuun ja ravinteet palautettaisiin korvauksetta tilan peltolohkoille seuraavana kasvukautena. Lisäksi palkokasvinurmien biologista typen sidontaa ja maan rakennetta ja muokkautuvuutta parantavaa vaikutusta tulisi hyödyntää kasvinviljelytilojen viljelykierrossa.

Viljelijät kaipaavat ratkaisuja HVP-lohkojen sadon hyödyntämiseen. Voidaan miettiä, olisiko mahdollista biokaasulaitoksen, maatilojen ja jalostavan teollisuuden yhteistyöllä brändätä uusituvaa energiaa tuottava ja hyödyntävä sekä ravinteiden kierrätystä harjoittava tuotantotapa siten, että tilan myyntituotteiden (esim. vilja) hintaa voitaisiin hieman kohottaa ja siten luoda kannustusta biokaasuliiketoimintaan osallistumiseen.

Hanke liittyi muihin bioenergian ja erityisesti biokaasun tuotantoa tutkiviin hankkeisiin. Toivomme, että tehty tutkimus lisää ymmärrystä käytettävissä olevista biomassaresursseista ja tuo oman lisänsä keskusteluun kestävästä ja ympäristöystävällisen maa- ja energiatalouden kehittämisessä.

Kiitämme maa- ja metsätalousministeriötä hankkeelle myönnetystä rahoituksesta. Kiitämme hankkeeseen osallistuneita viljelijöitä hyvästä yhteistyöstä sekä hankkeen ohjausryhmää arvokkaasta ohjauksesta hankkeen toteutuksen aikana.

Jokioinen, 28.2.2014



Tutkimuksen vastuullinen johtaja

Oiva Niemeläinen

Erikoistutkija

MTT Kasvintuotanto

oiva.niemelainen@mtt.fi; puh. 029 531 7547

Sisällysluettelo:

Esipuhe

1. Hankkeen tavoitteet	5
2. Hankkeen tulokset	5
2.1. Tutkimusmenetelmät ja aineisto	5
2.1.1. Maatila-aineisto	5
2.1.2. Kenttäkokeet	7
2.1.3. Korjuukustannustarkastelu	8
2.2. Tulokset	8
2.2.1. Maatila-aineiston tulokset	8
2.2.2. Kenttäkokeiden tulokset	12
2.2.3. Korjuukustannustarkastelu	18
2.3. Toteutusvaiheen arviointi	21
2.4. Julkaisut (Liitteenä)	
3. Tulosten arviointi	22
3.1. Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus	22
3.2. Tulosten tieteellinen merkitys	24
4. Hankeosapuolet ja yhteistyö	24
Liitteet.	

Liite 1: Loppuraportin tiivistelmä

Liite 2: Julkaisuluettelo

Raportissa käytettyjä lyhenteitä:

HVP	Hoidettu viljelemätön pelto (sisältää tietyt pellonkäyttöluokat)
LHP	Luonnonhoitopelto. Yksi HVP-pellonkäyttöluokista joka jakaantuu alaluokkiin.
Monivuotinen nurmipelto	Yleisin luonnonhoitopellon käyttöluokista.
VIHK	Viherkesanto. Yksi HVP-pellonkäyttöluokka.
SVN	Suojavyöhykenurmi
FM	Tuorepainoa (fresh matter)
TS	Total Solids = kuiva-aine
VS	Volatile Solids = orgaaninen kuiva-aine (kuiva-aine – tuhka)
MWh	1000 kWh
TWh	1 000 000 MWh
CH ₄	Metaani, m ³ CH ₄ ~10 kWh energiaa
p (-arvo)	Tilastollinen merkitsevyys. Esim. p<0.05 merkitsevä ero 5-prosentin tasolla.

1. Hankkeen tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli pellonkäyttökategorioiden ”Hoidettu viljelemätön pelto”, viherkesanto ja suojavyöhykepelto osalta selvittää: a) minkäsuuruinen ja -laatuinen biomassa ao. pelloille muodostuu voimassa olevilla hoito-ohjeistuksilla, b) arvioida korjuukustannukset tehokkaimmilla korjuumenetelmillä, c) arvioida sadon korjuun vaikutukset ravinnenvirtoihin ja huuhtoutumisriskeihin, d) vertailla ao. peltojen merkitystä kasvilajiston monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille, e) tuottaa ehdotuksia hoito-ohjeistukseksi mahdollisimman tehokasta biomassan tuotantoa varten siten, että samalla saavutetaan ao. ohjelmille asetetut muut tavoitteet.

2. Hankeen tulokset

2.1 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimus jakautui kolmeen työpakettiin: 1) Viljelijöiden pelloilta kerättäviin näytteisiin biomassan määrän ja laadun määrittämiseksi ja kasvuston monimuotoisuuden arvioimiseksi, 2) Hoidetun viljelemättömän pellon ja viherkesannon hoito-ohjeistus biokaasun raaka-ainetuotantoa varten, ja 3) Kirjallisuustiedon ja tästä tutkimuksesta saatujen satotietojen pohjalta tehtävään korjuukustannusten tarkasteluun.

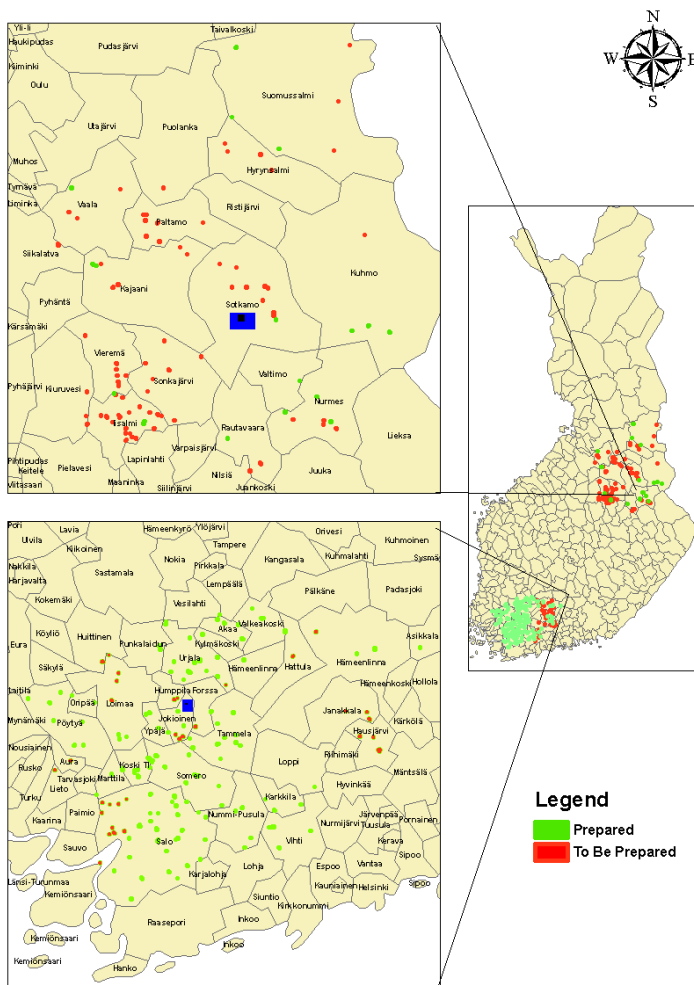
2.1.1. Maatila-aineisto

Otantatutkimuksen tekemistä varten saatiin hoidettu viljelemätön pelto -kategorioiden (viherkesanto, luonnonhoitopelto (nurmikasvit väh. 2 v.; suojavyöhykenurmi) kasvulohkotiedot pinta-aloineen ja otanta-alueen osalta yhteystietoineen MAVIn peltolohkokisteristä. Kasvulohkojen koon perusteella rajattiin pienin neljännes (koko alle 0,40 ha) otannan ulkopuolelle. Otanta tehtiin ositettuna otantana, ottaen huomioon otanta-alue, pellonkäyttöluokka ja lohkon koko. Satunnaisotantaan tuli Jokioisten keräysalueelta 80 viherkesanto-, 80 HVP monivuotinen nurmi- ja 29 suojavyöhykenurmilohkoa eli yhteensä 199 lohkoa. Sotkamon keräysalueelle tuli 27 viherkesanto-, 26 HVP monivuotinen nurmi- ja 19 suojavyöhykenurmilohkoa eli yhteensä 73 lohkoa. Haettavien näytteiden lukumäärätavoitteeksi vuotta kohden asetettiin Sotkamossa 40 lohkoa ja Jokioisilla 80 lohkoa. Näytteitä haettiin tiloilta vuosina 2010 ja 2011 ja Jokioisilla myös v. 2012. Yhteensä näytteitä saatiin 215 kpl 131 lohkolta.

Kultakin lohkolta otettiin 4 kpl satomittausta (4 m pitkä ja 90 cm leveä kaista sormiteräniittokoneella niitettynä), josta tehtiin yhdistetty näyte sadon botaanista analyysiä ja laatumäärittäystä varten. Kultakin lohkolta otettiin sekä muokkauskerroksesta (0–20 cm) että pintamaakerroksesta (0–2,5 cm) maanäyte viljavuusanalyysiä ja pintamaan fosforitilanteen seuraamista varten. Kasvinäytteistä tehtiin botaaninen määrittely kolmeen luokkaan: heinäkasvit, palkokasvit, leveälehtiset rikat sekä kuiva-ainemääritys (Total Solids) näytteiden ottopäivänä. Kuivatuihin ja jauhetuihin näytteistä määritettiin kivennäiset, tuhka ja typpipitoisuus. Tuhkan avulla voidaan laskea orgaaninen kuiva-aine (Volatile Solids). Joistakin näytteistä tehtiin myös rehun laatumääritys NIRS tekniikalla. Kaasuntuottopotentialiaali määritettiin laboratoriossa 18:sta tuoreena pakastetusta maatalanäytteestä.

Taulukko 1. Näytelohkojen ja satotietojen lukumäärä eri pellon käyttöluokista ja eri otanta-alueilta.

Pellonkäyttöluokka	Otanta-alue	Lohkoja kpl	Satotuloksia kpl
LHP-nurmi v. 2 vuotta	Eteläinen	45	81
	Pohjoinen	25	36
	Yhteensä	70	117
Viherkesanto	Eteläinen	30	50
	Pohjoinen	15	24
	Yhteensä	45	74
Suojavyöhykenurmi	Eteläinen	10	18
	Pohjoinen	6	6
	Yhteensä	16	24
Kaikki käyttömuodot	Eteläinen	85	149
	Pohjoinen	46	66
	Yhteensä	131	215



Kuva 1. Eteläisen ja pohjoisen näytealueen lohkojen sijainteja. Eteläisen alueen näytteiden käsittely tehtiin Jokioissa ja pohjoisen alueen käsittely Sotkamossa. Yhteensä satonäytteitä haettiin 215 kpl. Lohkoja joilta näyte haettiin oli 131 kpl.



Kuva 2. Kasvustonäytettä varten niitettiin 4 m x 0,9 m kaista neljästä kohtaa lohkoa. Näyte punnittiin ja näytteestä määritettiin kuiva-ainepitoisuus, koostumus ja tehtiin laatuanalyysit sekä osasta näytteistä kaasuntuottopotentiaali.

Vuonna 2011 tehtiin kasvillisuuden monimuotoisuuskartoitus 57 loholla, joista 19 sijaitsi pohjoisella otanta-alueella ja 38 eteläisellä otanta-alueella. Lohkoista 37 oli luonnonhoitopeltoja, 10 viherkesantoja ja 2 suojakaistoja. Näytteenottoa varten kullekin peltolohkolle mitattiin 50 m x 50 m -kokoinen ala, jolta kartoitettiin kaikki kasvilajit ja määritettiin niiden peittävyys 9-portaisella asteikolla. Siemenpankin tutkimista varten otettiin pintamaasta (1-2 cm) 20 maanäynäytettä (10 cm x 10 cm ala / näyte), jotka sekoitettiin ämpärissä. Lopuksi otettiin noin 0,5 l näyte, josta siemenet määritettiin. Kasvilajit luokiteltiin niittykasveihin (lajit, joilla positiivinen niittyarvo), hyönteispölytteisiin ja vieraslajeihin analyysijä varten. Lajimäärien ja lajiston koostumuksen vaihtelua pyrittiin selittämään seuraavilla muuttujilla: kasvustotyyppi (viherkesanto, luonnonhoitopelto), ojitus (avo-oja näytealalla, ei avo-ojaa), alue (Etelä-Suomi, Kainuu), Kasvuston ikä (milloin viimeksi muokattu), lohkolta mitattu kasvuston biomassa sekä maaperämuuttujat (pH, Ca, Mg, K ja P).

2.1.2. Kenttäkokeet

Hankkeessa oli kolme kenttäkoetta täydentämässä maatalanäytteistä saatavaa tietoa. Sadonkorjuun ajankohdan vaikutusta biomassasadon määrään ja laatuun HVP-nurmella selvitettiin 2010, 2011, 2012 ja 2013 tehdyllä **korjuuaikakokeella** Sotkamossa ja Jokioisilla. Kokeessa on neljä kerrannetta ja seuraavat käsittelyt: 1) Korjuu säilörehun korjuun loppuvaiheessa + toinen korjuu kasvukauden päätyttyä; 2) Korjuu säilörehunkorjuun loppuvaiheessa; 3) Korjuu heinäkuussa; 4) Korjuu elokuussa; 5) Korjuu säilörehun korjuun loppuvaiheessa ja sadossa poistuneet ravinteet palautettiin seuraavana keväänä. (Kuten koejäsen 2 mutta lannoitettu v. 2011, 2012 ja 2013). Lisäksi Jokioisilla otettiin yksi niitto aivan kasvukauden lopulla (kuvaamaan talvehtimaan jäävää kasvustoa, jota ei ollut kesän aikana niitetty). Kerranteita kokeessa oli neljä ja ruutukoko 1,5 m x 10 m. Koe sijaitsi samassa kohdassa kaikki vuodet eli sadot otettiin toistuvasti samasta ruudusta.

Katariina Yli-Heikkilä Tampereen ammattikorkeakoulusta teki täydentävän laboratoriokokeen, jossa hän selvitti nurmen niittoajankohdan (22.6., 5.7. ja 1.8.) vaikutusta niiton jälkeisen sadon fosforipitoisuuteen. Laboratoriossa biomassaa vuoroin jäädytettiin, sulatettiin ja huuhdeltiin vedellä, kuten luonnossakin tapahtuu kevään sulamiskaudella. Tarkoituksena oli selvittää, paljonko nurmikasvustoista huuhtoutuu fosforia keväällä. Syksyllä 2012 tutkittiin myös sinimailasesta, vuohenherneestä ja ruokohelvestä aiheutuvaa talviaikaista fosfori- ja typpikuormitusta.

Jokioisissa **täydennyskylvettiin puna-apilaa** suorakylvöllä luonnonhoitopeltoon. Osiossa hyödynnettiin vanhaa nurmikoetta. Ao. koe kuvaa HVP-kategorian peltoa ”LHP Nurmi väh. 2 vuotta”. Koetta ei lannoitettu. Koealue oli perustettu nurmeksi v. 2005 ja lannoitettu viimeksi v. 2008. Vuosina 2010-2012 nurmikasvusto oli 5-7 vuoden ikäinen. Täydennyskylvökäsittelyt (puna-apila 6 kg ha⁻¹): 1) ei täydennyskylvöä; 2) apilan täydennyskylvö toukokuussa v. 2010; 3) apilan täydennyskylvö satoniiton jälkeen heinäkuun puolivälissä v. 2010. Koealue kynnettiin syksyllä 2012. Kesällä 2013 koealueella viljeltiin kauraa ja apilan täydennyskylvön esikasvivaikutus kauran kasvuun mitattiin. Kokeessa oli kolme kerrannetta ja ruutukoko oli 10 m x 3 m.

Kolmannessa kenttäkokeessa selvitettiin kuinka saadaan **HVP-nurmelta maksimaalinen biomassasato**. Jokioisiin ja Sotkamoon perustettiin v. 2010 koe, jossa selvitettiin erityisesti rehuvuohenherneen (*Galega orientalis*) biomassan tuotantopotentiaali. Rehuvuohenherne on tyyppiä sitova syväjuurinen ja pitkäikäinen kasvi. Biokaasusyötteen tuotantoon sopisi hyvin sellainen kasvi, joka antaa yhdellä korjuulla suuren ja kaasuntuotantoon soveltuvan sadon, ja jonka viljelykustannukset lannoituksen ja uusimistarpeen osalta ovat vähäiset. Kasvustoja hoidettiin HVP-ohjeiden mukaisesti. Koe oli ns. osaruutukoe jossa pääruutukäsittelynä oli yksi ja kaksi niittoa kasvukaudessa. Osaruututekijänä olivat kasvilajiseokset. Kokeen koejäsenet:

A Niittojen lukumäärä: A1 Yksi niitto kasvukaudessa (elokuun loppupuolella) ; A2 Kaksi niittoa kasvukaudessa (ensimmäinen niitto heinäkuun lopulla ja toinen niitto syyskuun lopulla).

B Seos (Huom! Palkokasvin osuus seoksessa on suurempi kuin LHP-nurmeen sallittu 20 % koejäsenissä 1, 2, 3, ja 7)

B1 Galega (puhdas) (Siemenmäärä: 28 kg ha⁻¹ = noin 300 kpl m⁻²)

B2 Galega + ruokohelpi (150 kpl m⁻² + 400 kpl m⁻²)

B3 Galega + timotei (150 kpl m⁻² + 1000 kpl m⁻²)

B4 Sinimailanen (12 kg ha⁻¹), ruisvirna (20 kpl m⁻²) , (4 kg ha⁻¹) ruokohelpi (max 30%) (maisemakasviseos)

B5 Timotei (80%) + puna-apila (20%); (16 kg timotei ha⁻¹ + 4 kg puna-apila ha⁻¹)

B6 Ruokohelpi (1000 kpl m⁻²)

B7 Galega + ruokohelpi. Kuin koejäsen B2, mutta sadossa korjatut ravinteet palautetaan peltoon seuraavana keväänä.

Koe kylvettiin kesäkuun lopussa v. 2010. Koetta ei niitetty v. 2010.

Kokeessa oli neljä kerrannetta ja ruutukoko oli 1,5 m x 10 m. Koe korjattiin ja sadot analysoitiin vuosina 2011, 2012 ja 2013. Vuonna 2013 Sotkamossa otettiin vain yksi niitto.

Kenttäkokeiden satonäytteistä määritettiin kasvuston koostumus, kuiva-aine, tuhka, kivennäisanalyysit, typpipitoisuus sekä suuresta osasta NIRS-tekniikalla myös rehun laatu. Vuoden 2013 sadosta tehtiin vain botaaninen koostumus ja kuiva-aine-analyysi. Biokaasuntuottopotentiaali määritettiin osasta näytteistä MTT:llä vuonna 2012 ja 2013 laboratoriomittakaavan laitteistolla. Sotkamossa määritettiin biokaasuntuottopotentiaalia pilottikokoluokan laitteistolla kenttäkokeen vuohenherneestä sisältävästä sadosta.



Kuva 3. Apilan täydennyskylvö (6 kg/ha) suorakylvönä LHP-nurmeen lisäsi biomassan tuottoa.



Kuva 4. Timotei-puna-apila oli suositeltavin seos biomassan tuotantokokeessa Jokioisilla ja Sotkamossa.

Taulukko 2. Säätiiedot (kuukauden keskilämpötila °C ja sademäärä mm) kesäkuukausina 2010, 2011, 2012 ja 2013 sekä pitkän ajan keskiarvot Jokioisissa ja Sotkamossa.

Kuukausi	Toukokuu		Kesäkuu		Heinäkuu		Elokuu		Syyskuu	
Jokioinen	C	mm	C	mm	C	mm	C	mm	C	mm
2010	11,4	73	14,0	53	20,8	42	16,3	54	10,6	69
2011	10,0	49	16,7	69	19,0	156	15,6	35	12,1	104
2012	10,5	42	12,6	82	15,6	81	13,0	52	10,7	119
2013	12,9	18	16,6	57	16,4	56	15,8	103	10,8	23
1980-2010	9,8	40	14,0	63	16,7	75	15,0	80	9,9	58
Sotkamo	C	mm	C	mm	C	mm	C	mm	C	mm
2010	10,2	65	11,9	80	19,6	78	14,2	54	9,0	87
2011	8,6	44	15,3	95	18,3	109	14,0	81	10,2	93
2012	8,5	58	12,2	113	15,8	95	12,9	107	9,0	76
2013	10,3	48	16,3	51	15,7	75	15,0	60	10,2	46
1980-2010*	7,6	65	13,1	59	15,9	75	13,4	75	8,3	51

- * Kajaanin lentokentän säätiiedot 1980-2010.

2.1.3. Korjuukustannustarkastelu

Korjuukustannustarkastelussa hyödynnettiin kirjallisuustietoja, tästä kokeesta saatuja satotietoja ja käytettiin TTS-Kone ohjelmaa. Biomassan saatavuustarkastelussa hyödynnettiin MAVIn lohkotietorekisteriä ja kehitettiin kuljetusetäisyyttä mallintava kaava.

Saatuja tuloksia ja erilaisia rajoituksia/olettamuksia käyttämällä voidaan karkeasti arvioida ao. alalta saatavissa olevaa energian määrää ja alueellista jakautumista.

2.2 Tulokset

2.2.1. Maatila-aineisto

Sadon määrä vaihteli eri lohkoilla hyvin voimakkaasti. Niitetyn biomassan määrä eri lohkoilla vaihteli välillä 1 300 – 10 300 kg kuiva-ainetta ha⁻¹. Keskisadot olivat 4608, 5118 ja 5606 kg ka ha⁻¹ vuosina 2010, 2011 ja 2012. Satotulosten perusteella ryhmiteltynä korkeimman sadon antaneen neljänneksen biomassasadon alarajat olivat 5650, 5977 ja 6819 kg ka ha⁻¹. Eli suurimman saton neljänneksen lohkoilla sato oli ainakin alarajan suuruinen. Sadon määrään vaikuttavista tekijöistä vuosi vaikutti merkittävästi korjatun biomassadan määrään. Eteläiseltä näytealueelta saatiin keskimäärin 530 kg ka ha⁻¹

suurempi sato kuin pohjoiselta näytealueelta. Sen sijaan pellon käyttöluokka – HVP-nurmi, viherkesanto tai suojaväyhykenurmi ei vaikuttanut merkitsevästi kasvimassan määrään. Lohkon ikä HVP-nurmena tai nurmilviljelyssä ylipääs ei selittänyt satovaihtelua, lohkon koolla ei ollut satoon vaikutusta eikä myöskään maan ravinnepitoisuusarvoilla eikä kasvuston koostumuksella. Sadosta oli keskimäärin 2/3 heinäkasveja ja ¼ palkokasveja ja loput leveälehtisiä rikkakasveja. Vaihtelu sadon koostumuksessa oli suurta. Koko otoksen keskisato oli 4990 kg ka ha, ja keskihajonta oli 1735 kg ka ha⁻¹.

Taulukko 3. Maatiloilta haettujen HVP-näytteiden kuiva-ainesatojen (kg ka ha⁻¹) keskisato sekä alakvartaalin yläraja ja yläkvartaalin alaraja. Aineistossa on sekä eteläisen että pohjoisen alueen keskisato, että pellonkäyttöluokat viherkesanto, LHN nurmi vähintään 2 vuotta ja suojaväyhykenurmi.

Vuosi	v. 2010	v. 2011	v. 2012
	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹
Alimman saton neljänneksen yläraja	3391	3781	4938
Sato keskimäärin	4608	5118	5606
Ylimmän saton neljänneksen alaraja	5650	5977	6819

Taulukko 4. Nurmikasvuston ikä maan HVP-lohkoilla. Mukana ovat viherkesanto, LHP-nurmi väh. 2 vuotta ja suojaväyhykenurmilohkot. Kuinka kauan lohkot olivat olleet HVP-nurmina tai ylipäänsä nurmina. Neljännekset on laskettu lohkojen lukumääristä.

Lohkon käyttötapa	Nuorimman neljänneksen iän yläraja vuotta	Nurmen iän alaraja, jossa puolet lohkoista vanhempia kuin	Vanhimman neljänneksen iän alaraja
HVP-nurmena	3	5	11
HVP- tai tuotantonurmena	4	7	15
HVP- tai tuotantonurmena*	4	10	16

- * mukana vain lohkot joilta oli viljelyhistoriatieto vuodelta 2004 tai kauempaa

Ravinnepoistumat maatalanäytteiden perusteella

Ravinteiden määrä maanpäällisessä biomassassa vaihteli vuosittain. Vähiten typpeä (53 kg ha⁻¹) oli kasvustossa vuonna 2012, mutta ero muihin vuosiin ei ollut merkitsevä (p=0,64). Pohjoisen (53 kg ha⁻¹) ja eteläisen (61 kg ha⁻¹) näytteenottoalueiden välillä ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Sen sijaan LHP-lohkojen kasvustossa oli eniten (p=0,11) typpeä (64 kg ha⁻¹), kun vastaavat määrät olivat 51 kg ha⁻¹ suojaväyhykenurmella ja 55 kg ha⁻¹ viherkesannolla. Myös kasvulohkojen välillä vaihtelu (12–176 kg ha⁻¹) oli suurta. Vaihtelu oli samansuuruista jokaisena vuonna: kvartiiliväli oli 37–81 kg ha⁻¹ (2010), 40–79 kg ha⁻¹ (2011) ja 41–83 kg ha⁻¹ (2012). Alle 6 vuotta HVP-viljelyssä olleilla lohkoilla kasvustossa oli 10 kg ha⁻¹ vähemmän typpeä kuin tätä kauemmin HVP-viljelyssä olleilla lohkoilla, mutta ero ei ollut merkitsevä (p=0,37).

Fosforin osalta tiedot vaihtelivat jonkin verran tyypeen verrattuna. Kasvustoissa oli vähiten fosforia (8,5 kg ha⁻¹) vuonna 2010, jolloin myös keskimääräiset sadot olivat pienimmät. Muina vuosina kasvustoissa oli fosforia 10,7 kg ha⁻¹ (2011) ja 10,6 kg ha⁻¹ (2012), ja ero oli merkitsevä (p<0,001) verrattuna vuoteen 2010. Pohjoisen (10,3 kg ha⁻¹) ja eteläisen alueen (9,6 kg ha⁻¹) välillä ei ollut merkitseviä eroja. LHP-kasvustoissa oli fosforia 10,6 kg ha⁻¹, kun vastaava määrä oli 10,2 kg ha⁻¹ suojaväyhykenurmella ja 9,0 kg ha⁻¹ viherkesannoilla. Vaihtelu oli myös fosforin kohdalla suurta kasvulohkojen välillä (2,6–22,8 kg ha⁻¹). Alle 6 vuotta HVP-viljelyssä olleilla lohkoilla fosforia oli kasvustoissa keskimäärin 0,6 kg ha⁻¹ vähemmän kuin vanhemmissa kasvustoissa, mutta ero ei ollut merkitsevä (p=0,69).

Kaliumia kuten fosforiakin oli vähiten vuoden 2010 kasvustoissa (59 kg ha⁻¹), ja ero muihin vuosiin oli merkitsevä (p=0,02). Vastaavat luvut olivat 77 kg ha⁻¹ (2011) ja 73 kg ha⁻¹ (2012). Kalsiumia puolestaan oli vähiten (21 kg ha⁻¹) vuoden 2012 kasvustossa, ja ero muihin vuosiin oli melkein merkitsevä (p=0,08). Kalsiumin kohdalla myös ero pohjoisen (21 kg ha⁻¹) ja eteläisen (27 kg ha⁻¹) näytteenottoalueiden välillä oli merkitsevä (p=0,04). Rikkiä (6,6 kg ha⁻¹) kasvustoissa oli eniten vuonna 2011, ja ero muihin vuosiin oli merkitsevä (p=0,02). Rikkiä oli eniten LHP-lohkojen kasvustoissa (6,6 kg ha⁻¹), ero oli tilastollisesti merkitsevä (p=0,04). Suojaväyhykenurmella vastaava määrä oli 5,1 kg ha⁻¹ ja viherkesannoilla 5,5 kg ha⁻¹. Magnesiumia oli alle 6 vuotta vanhoissa kasvustoissa vähemmän (7,6 kg ha⁻¹) kuin vanhemmissa kasvustoissa, joissa sitä oli 9,5 kg ha⁻¹ (p<0,01). Magnesiumia (7,1 kg ha⁻¹) samoin kuin typpeä, kalsiumia oli vähiten vuoden 2012 kasvustossa.

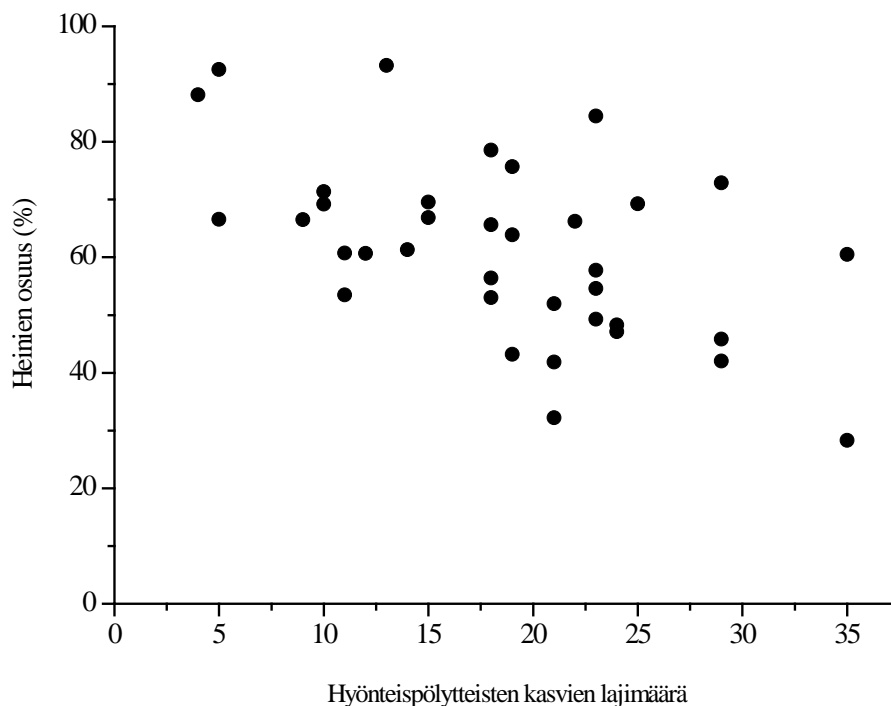
Jos maatilakokeissa kasvusto olisi korjattu pois, niin pellolta olisi poistunut ravinteita 1000 kg ha⁻¹ kuiva-ainesatoa kohti seuraavasti: typpeä 12,5 kg ha⁻¹, fosforia 1,6 kg ha⁻¹, kaliumia 16,4 kg ha⁻¹, kalsiumia 3,8 kg ha⁻¹, rikkiä 1,1 kg ha⁻¹ ja

magnesiumia 1,1 kg ha⁻¹. Koko maatila aineiston keskisadolla (4 990 kg ka ha⁻¹) laskettuna vuosittainen ravinnepoistuma olisi 8,0 kg P ha⁻¹, 82 kg K ha⁻¹, 19 kg Ca ha⁻¹, 5,5 kg S ha⁻¹ ja 5,5 kg Mg ha⁻¹. Jos sato korjataan vuosittain eikä poistuneita ravinteita palauteta peltoon, niin Ekholmin ym. (2005) esittämän yhtälön mukaan kivennäis- ja savimailla viljavuusluokan aleneminen fosforin osalta tyydyttävästä välttävään kestäisi noin 20 vuotta. Vastaavasti runsasmultaisilla hiue- ja savimailla kasvavat galegakasvustot alentaisivat viljavuusluokan tyydyttävästä välttävään noin 10–15 vuodessa. Kaksi niittoa vuodessa poistaa enemmän fosforia kuin yksi niittokerta, jolloin myös maan viljavuusfosforiluvun pienenisivät nopeammin.

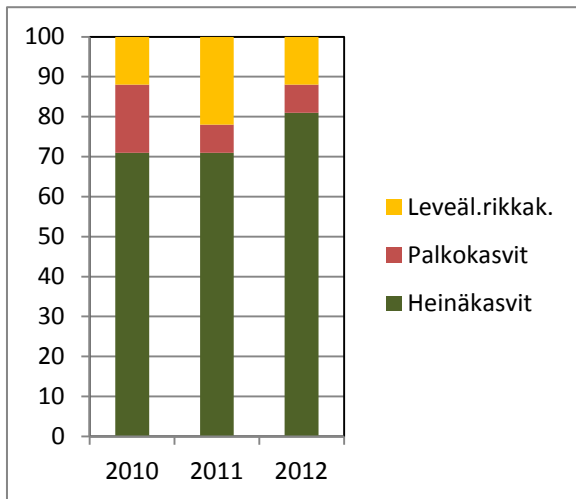
Maannäytteiden perusteella viljavuus-P oli nurmen pintamaakerroksessa (0–2,5 cm) korkeampi kuin muokkauskerroksessa (0–20 cm).

Kasvuston monimuotoisuus

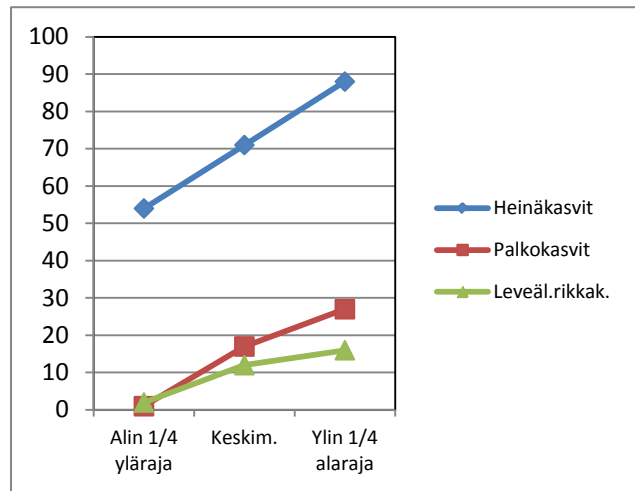
Pienemmästä aineistosta tehdyssä kasvilajiston monimuotoisuuden selvityksessä löydettiin yhteensä 174 kasvilajia, joista hyönteispölytteisiä oli 97, niittyjen indikaattorilajeja 39 ja vieraslajeja 54. Siemenpankista löydettiin 34 lajia. Yleisimpiä lajeja olivat monivuotiset timotei, nurmiröllä, voikukka, rönsyleinikki ja hiirenvirna. Siemenpankin yleisimmät lajit olivat leinikit, jauhosavikka ja nurmipuntarpää. Kasvien lajimäärää oli sitä korkeampi mitä vanhempi oli tutkitun peltolohkon kasvusto sekä lohkoilla, joilla oli avo-oja (kokonaislajimäärä ja hyönteispölytteiset lajit). Lajimäärää oli puolestaan sitä alhaisempi, mitä korkeampi heinien biomassa oli lohkoilla (Kuva 5). Ainoa siementen lukumääriin vaikuttanut tekijä oli tutkimusalue: siemenmäärät olivat suurempia pohjoisella otanta-alueella kuin eteläisellä otanta-alueella.



Kuva 5. Hyönteispölytteisten kasvien lajimäärän ja heinäbiomassan välinen suhde (Pearsonin korrelaatio $r = -0.470$, $p < 0,01$).



Kuva 6. Kasvustonäytteiden keskimääräinen koostumus (prosenttia) vuosina 2010-2012.



Kuva 7. Kasvustonäytteiden komponenttien keskimääräiset prosenttiosuuksien arvot ja ala- ja yläkvartiilien rajat vuonna 2010.

Keskimäärin runsaat kaksi kolmasosaa biomassasta oli heinää (Kuva 6). Palkokasvien keskimääräinen osuus oli alle neljänneksen. Leveälehtisten rikkakasvien määrä vaihteli palkokasvien määrää enemmän. Kuvassa 7 esitetään vuodelta 2010 eri koostumusosien keskimääräiset arvot ja alakvartaalin yläraja ja yläkvartaalin alaraja.

Monimuotoisuustarkastelussa todettiin, että HVP-pelloista on hyötyä lajiston monimuotoisuudelle. Kasvuston iällä on suurempi merkitys biodiversiteetille kuin HVP-tyypillä. Heinävaltainen kasvusto vähentää HVP-pellon biodiversiteettiarvoa. HVP-pelloilla ei ole suurta merkitystä vieraskasvien leviämisreittinä. Nurmen ikä nostaa lajirunsautta.

Kaasuntuottopotentiali

Vuonna 2012 analysoitiin metaanintuottopotentiali vuosina 2010 ja 2011 kerätyistä pakastetuista HVP-kasvustonäytteistä. Näytteitä oli kerätty tiloilta sekä Sotkamon (4 kpl) ja Jokioisten alueelta (18 kpl) sekä Jokioisilla suoritetuista koeruutukokeista (5 kpl). (Taulukko 5).

Taulukko 5. Metaanipotentiaali tuorepainoa (FM), kuiva-ainetta (TS) sekä orgaanista kuiva-ainetta (VS) kohden sekä ao. näyteaineiston kuiva-ainesato ja kasvilajikoostumus. Näytteet ovat eteläisen näytealueen HVP-lohkoilta (18 kpl) ja Jokioisten kenttäkoeruuduilta.

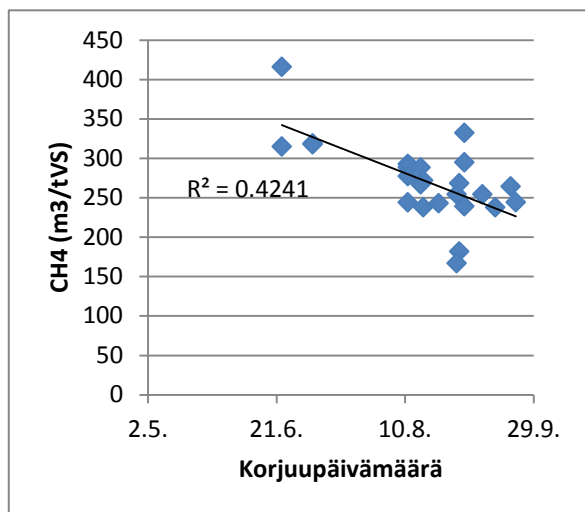
*Energiasato on laskettu CH_4 ($\text{m}^3/\text{t-TS}$) energia-arvolla ja ao. näyteryhmän kuiva-ainesadon arvoilla. Molemmista on käytetty ao. näytesarjan keskiarvoja, minimi- ja maksiarvoja. Metaanikuution energia-arvo on laskelmassa 10 kWh.

	CH_4 ($\text{m}^3/\text{t-FM}$)	CH_4 ($\text{m}^3/\text{t-TS}$)	CH_4 ($\text{m}^3/\text{t-VS}$)	Kuiva- ainesato (ton/ha)	Energia* (MWh/ha)	Heinä- kasveja (%)	Palko- kasveja (%)	Rikka- kasveja (%)
Kaikki näytteet, N=22								
Keskiarvo	92.6	255.0	275.9	3,959	10.0	71	15	16
Maksimi	151.3	386.3	416.0	6,537	17.8	98	100	91
Minimi	40.4	155.9	166.9	1,041	2.9	0	0	0
Tilanäytteet, N=18								
Keskiarvo	91.9	241.0	261.2	4,263	10.5	66	16	17
Maksimi	151.3	305.2	332.2	6,537	17.8	98	100	91
Minimi	40.4	155.9	166.9	1,333	2.9	0	0	0
Koeruudut, N=4								
Keskiarvo	95.8	318.1	341.8	2,589	8.0	92	3	10
Maksimi	105.5	386.3	416.0	5,225	15.7	97	5	24
Minimi	78.2	291.6	314.9	1,041	3.0	82	1	1

Biomassan metaanipotentiaalikoikeissa on saatu jonkin verran alhaisempia kaasumääriä verrattuna kirjallisuusarvoihin. Tämä on johdonmukaista, sillä kirjallisuusarvot on saatu viljelyiltä ja lannoitetuilta pelloilta, kun taas tämän tutkimuksen näytteet on koottu tiloilta, joilla lohkoja on viljelty HVP-säännösten mukaisesti (eikä siis lannoitettu).

Kaasuntuotto maatalanäytteissä

Korjuuajalla oli vaikutusta biomassan metaanipotentiaaliin. Aikaisin korjattu kasvimassa tuotti enemmän metaania kuiva-ainekiloa kohti kuin myöhemmin korjattu. (Kuva 7)



Kuva 8. Metaanin tuottopotentialin (m³/t-VS) ja korjuuajan välinen korrelaatio maataloilta ja kenttäkokeista saaduissa näytteissä.



Kuva 9. Metaanintuottopotentialin mittaaminen MTT Kotieläintuotannon laboratoriossa. Ympyri on naudan lietelantaa ja kasvibiomassaa mädättävältä biokaasulaitokselta. Määrittäminen tehtiin pakastetuista näytteistä.

Energiasadoksi laskettiin metaanintuottopotentialikokeiden metaanin tuoton ($255 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{t-TS}$) ja näytemateriaalin kuiva-ainesadon perusteella olevan mukaan 10 MWh ha^{-1} . (taulukko 5). Laskemalla energiasato koko maatala-aineiston keskisadolla ($4,99 \text{ ton ka ha}^{-1}$) saadaan energiasadoksi hieman korkeampi - noin $12,7 \text{ MWh ha}^{-1}$.

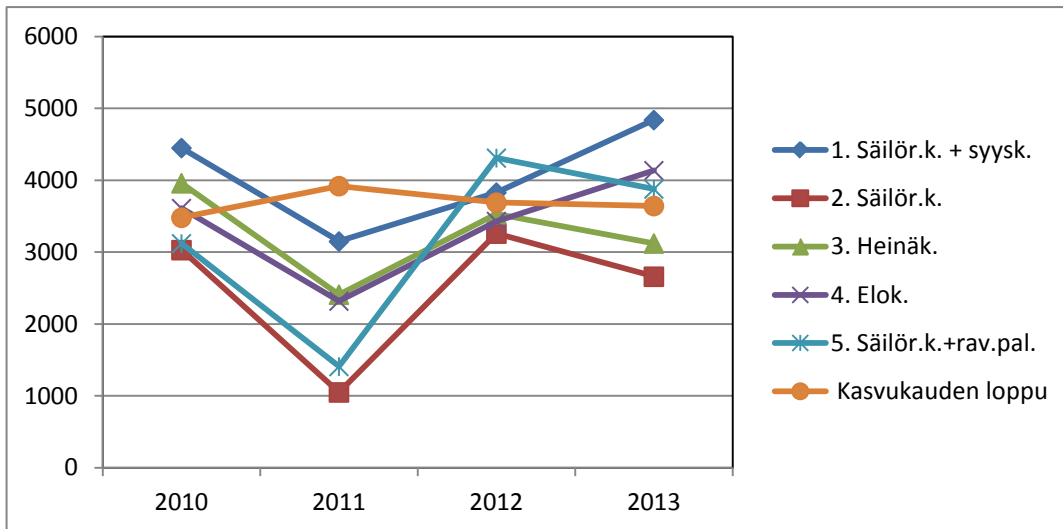
Tulostiivistelmä 2.2.1.: Sato vaihtelee suuresti lohkolta toiselle. Lohkon ikä HVP-nurmena/ nurmena ei selittänyt satovaihtelua. Kasvuston koostumus ei selittänyt satovaihtelua. Lohkon viljavuustiedot eivät selittäneet satovaihtelua. Vuosi vaikutti merkittävästi satoon. Sadon koostumus: 2/3 heinää, palkokasveja noin 1/4. Pintamaan fosforiluku kasvaa HVP-lohkoilla, kun kasvin juuret nostavat fosforia syvemmistä kerroksista ja niitosta ei korjata pois. Pintamaan suuresta helppoliukoisen fosforin pitoisuudesta saattaa seurata fosforihuuhtoutumia, kun valumavesi huuhtelee maan pintaa. Sadon kaasuntuottopotentiali on mittava jos koko ala korjattaisiin kaasuntuotantoon. HVP-pelloista on hyötyä lajiston monimuotoisuudelle. Kasvuston iällä suurempi merkitys biodiversiteetille kuin HVP-tyypillä. Heinävaltainen kasvusto vähentää HVP-pellon biodiversiteettiarvoa. HVP-pelloilla ei suurta merkitystä vieraskasvien leviämiseksi. Aikaisemmin korjatusta kasvusto saatiin suurempi kaasusaanto orgaanista kuiva-ainetta kohti kuin myöhään korjatusta. HVP-lohkoilta haettujen kasvustonäytteiden metaanintuottopotentiali oli $255 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{t-TS}$. Keskisadolla $4,99 \text{ ton ka ha}^{-1}$ energiasato on noin $12,7 \text{ MWh ha}^{-1}$.

2.2.2. Kenttäkokeiden tulokset

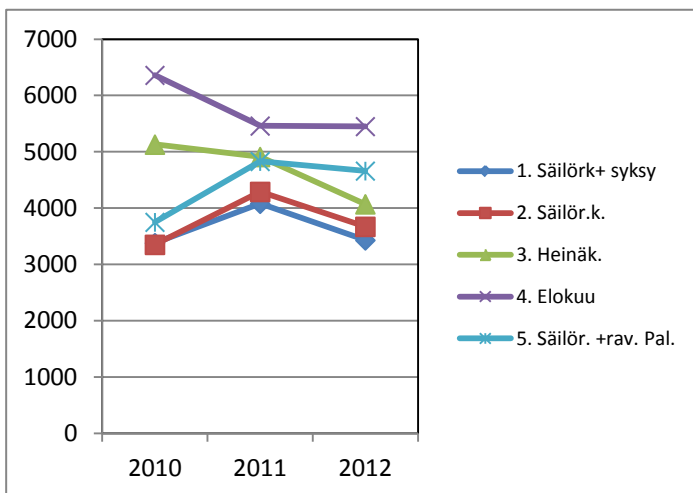
Kenttäkokeilla tuotettiin ohjeistusta kuinka nykyisiä viljelmiä tulisi hoitaa biokaasusadon maksimoimiseksi, ja kuinka perustaa uudet kasvustot kaasuntuottamisen kannalta optimaalisesti.

Korjuuajan vaikutus HVP-nurmella:

Kokeessa oli seuraavat käsittelyt: 1) Korjuu säilörehun korjuun loppuvaiheessa + toinen korjuu kasvukauden päätyttyä; 2) Korjuu säilörehun korjuun loppuvaiheessa; 3) Korjuu heinäkuussa; 4) Korjuu elokuussa; 5) Korjuu säilörehun korjuun loppuvaiheessa ja sadossa poistuneet ravinteet palautetaan seuraavana keväänä. (Kuten koejäsen 2 mutta lannoitettu v. 2011, 2012 ja 2013). Jokioisissa tehtiin lisäksi niitto aivan kasvukauden lopussa.



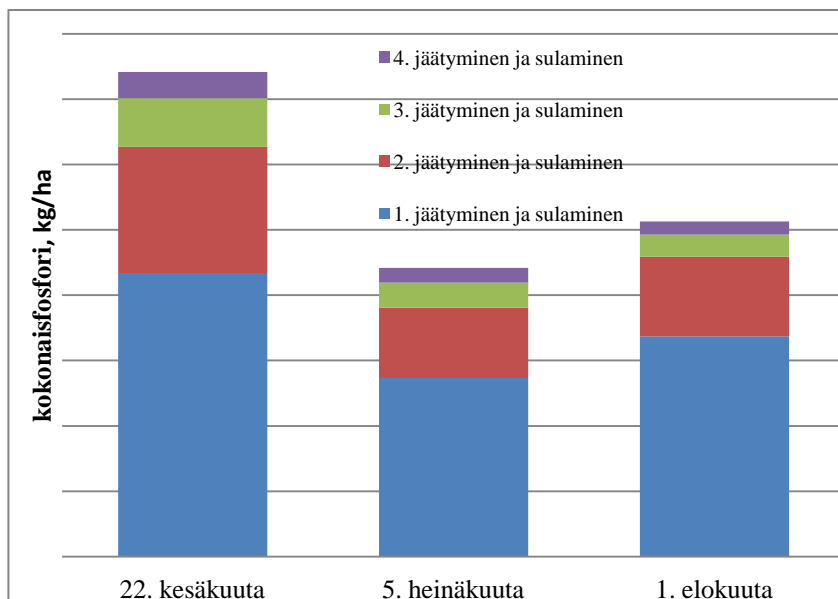
Kuva 10. Jokioisten korjuuaikakokeessa tasaisin kuiva-ainesato (kg ka ha^{-1}) vuosina 2010, 2011, 2012 ja 2013 saatiin kasvukauden lopulla korjatusta kasvustosta. Koejäsenet 2 ja 5 ovat muuten samat, mutta korjatun sadon ravinteet palautettiin seuraavana keväänä koejäsenessä 5. Kuvan koejäsenen 1 sadossa on yhdistetty kevät- ja syysniittosadot. Lohko on ollut HVP-nurmena vuodesta 2004.



Kuva 11. Korjuuaikakokeessa LHP-nurmesta korjattu sato (kg ka ha^{-1}) sotkamossa vuosina 2010, 2011 ja 2012. Elokuussa korjatusta saatiin suurimmat kuiva-ainensadot.

Jokioissa sadot olivat pääosin alle $4000 \text{ kg ka ha}^{-1}$. Sotkamossa sadot olivat $3500 - 6500 \text{ kg ka ha}^{-1}$.

Nurmen niittoajankohdan (22.6., 5.7. ja 1.8.) vaikutusta niiton jälkeisen sadon fosforipitoisuuteen tutkittiin Katariina Yli-Heikkilän työssä. Tarkoituksena oli löytää niittoajankohta, josta olisi vähäisimmät fosforipäästöt ympäristöön seuraavana keväänä. Vaikka fosforia vapautui veteen eniten elokuussa tehdyn niiton jälkeisestä kasvustosta kuiva-ainetta kohti, niin suurin fosforikuorma ($6,5 \text{ kg ha}^{-1}$) pinta-alaa kohti laskettuna aiheutui kesäkuussa tehdyn niiton jälkeisestä kasvustosta (Kuva 12). Syynä tähän oli se, että kesäkuussa tehdyn niiton jälkeinen kasvusto oli suurempi kuin heinä-elokuussa tehtyjen niittojen jälkeiset kasvustot. Myöhempien niittoajankohdtien osalta kuormituspotentialiaali oli pari kiloa vähemmän. Samalla tutkittiin myös apilan lisäkylvön vaikutusta kevään fosforihuuhtoutumiin. Suurin kuormituspotentialiaali (5 kg ha^{-1}) mitattiin kasvustosta, jossa apila oli kylvetty edellisenä keväänä. Kontrollista, jossa ei kasvanut apilaa, kuormitus oli pari kiloa pienempi.



Kuva 12. Kasviaineksesta vapautunut kokonaisfosfori (kg ha^{-1}) neljän jäätymis-sulamis-tapahtuman aikana. Ensimmäinen niittokerta oli 22.6., 5.7. tai 1.8.2011, ja sen jälkeen kasvanut biomassa kerättiin 26.9.2011.

Maatilakokeen tulokset vs. ruutukokeiden tulokset ravinteiden poistuman kannalta.

LHP-lohkolle perustetuissa ruutukokeissa kasvustojen fosfori- ja typpimäärät yleensä olivat maatilakoelohkojen kvartiilivälin alapäästä tai sen alapuolelta. Tähän saattoi osaltaan vaikuttaa se, että koeruuduilla kasvusto ja sen sisältämät ravinteet poistettiin niiton yhteydessä. Sen sijaan maksimaaliseen biomassan tuotantoon tähtäävissä vuohenherneruutukokeiden kasvustoissa oli runsaasti fosforia ($9\text{--}22 \text{ kg ha}^{-1}$) ja typpeä ($110\text{--}156 \text{ kg ha}^{-1}$). Jos kasvustot niitettiin kasvukaudella kaksi kertaa, kasvuston mukana poistui fosforia $15\text{--}48 \%$ ja typpeä $12\text{--}51 \%$ enemmän kuin niitettäessä vain kerran.

Maatila-aineiston mukaan HVP-lohkojen kasvustoissa oli keskimäärin $1,6 \text{ kg}$ fosforia $1000 \text{ kuiva-ainekiloa}$ kohti. Laboratoriossa tehdyssä kokeessa jäätyneistä ja sulaneista koeruuduilla kasvaneista nurmikasveista vapautui fosforia $2,6\text{--}2,8 \text{ kg}$ $1000 \text{ kuiva-ainekiloa}$ kohti. Näytteet oli kerätty syksyllä $56\text{--}96 \text{ vrk}$ ensimmäisen niiton jälkeen kasvaneista kasvustoista. Kun niitto tehdään myöhäisessä kasvuvaiheessa, toinen sato jää pieneksi, eikä potentiaalinen fosforinhuuhtouma ole kovin suuri kasvien suuresta fosforipitoisuudesta huolimatta.

Puna-apilan täydennyskylvö luonnonhoitopeltoon

Suorakylvönä tehdyn puna-apilan täydennyskylvön orastumiselle oli erinomaiset olosuhteet toukokuussa v. 2010 kun sademäärä kylvön jälkeen oli poikkeuksellisen runsas (Taulukko 2). Heinäkuu oli sen sijaan erittäin lämmin ja kuiva Jokioisissa v. 2010, ja heinäkuussa tehdyn kylvön orastuminen oli onnetonta ja tämä näkyy satotuloksissa (Taulukko 6).

Taulukko 6. Puna-apilan täydennyskylvön koejäsenten sadot (nurmilla kg ka ha^{-1} ja kauralla kg ha^{-1}):

	Nurmi v. 2010 Sato kg ka ha^{-1}	Nurmi v. 2011	Nurmi v. 2012	Kaura* v. 2013
1) Ei täydennyskylvöä	1280	2180	1720	2408
2) Apilan täydennyskylvö toukokuussa 2010	1160	5530	6190	2840
3) Apilan täydennyskylvö heinäkuussa 2010	-	2080	2150	2405

- *kauran sato on ilmoitettu 86% prosentin kuiva-ainepitoisuudella.

Apilan osuus koejäsenen 2 sadosta oli hyvin suuri – yli 80% prosenttia. Leveälehtisten rikkojan määrä oli vähäinen. Koealue kynnettiin syksyllä 2012 ja kesällä 2013 koealueella viljeltiin kauraa. Apilan täydennyskylvön esikasvivaikutus kauran kasvuun mitattiin. Typpilannoitus oli alhainen, 40 kg N ha^{-1} . Apilan onnistunut täydennyskylvö toukokuussa lisäsi kauran satoa 430 kg ha^{-1} – noin 18% prosenttia. Sen sijaan heinäkuussa tehty täydennyskylvö ei orastunut eikä positiivista esikasvivaikutusta havaittu (Taulukko 6).

Palkokasviseos HVP-biomassanurmena

Jokioisilla ja Sotkamossa perustettiin v. 2010 kenttäkoe, jossa selvitettiin rehuvuohenherneen (*Galega orientalis*) potentiaali biokaasulaitoksen raaka-aineen tuottamiseen. Rehuvuohenherne on tyypeä sitova syväjuurinen kasvi. Biokaasuyötteen tuotantoon sopisi hyvin sellainen kasvi joka antaa yhdellä korjuulla suuren ja kaasuntuotantoon soveltuvan sadon ja viljelykustannukset lannoituksen ja uusimistarpeen osalta ovat vähäisiä. Kasvustoja hoidettiin HVP-ohjeiden periaatteiden mukaisesti.

Kokeen pääruutukäsittelynä oli yksi tai kaksi niittoa kasvukaudessa Kokeen koejäsenet ovat: Yksi tai kaksi niittoa kasvukaudessa.

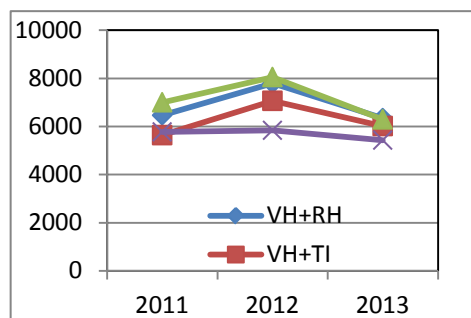
Seokset :

B Seos (palkokasvin osuus on suurempi kuin sallittu 20 % koejäsenissä 1, 2, 3, ja 7)

B1 Galega (puhdas); B2 Galega + ruokohelpi; B3 Galega + timotei; B4 Sinimailanen ym. (maisemakasviseos)

B5 Timotei (80%) + puna-apila (20%); B6 Ruokohelpi; B7 Galega + ruokohelpi. Koejäsenessä B7 sadossa korjatut ravinteet palautetaan peltoon. Koe kylvettiin kesäkuun lopussa v. 2010 eikä sitä niitetty v. 2010.

Oheisissa taulukoissa ja kuvissa esitään potentiaalisimmiksi seoksiksi osoittautuneiden koejäsenten B2, B3, B5 sekä verranteena puhtaan ruokohelpin B6 tulokset.



Vuosi	2011	2012	2013	Keskimäärin
Seos	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹
VH+RH	6467 ab	7789 ab	6350 a	6869 a
VH+TI	5641 b	7067 b	6017 a	6241 b
TI+PA	7006 a	8056 a	6293 a	7118 a
RH	5677 b	5843 c	5430 a	5650 a

Kuva 13. Jokioisten ja Sotkamon yhdistetyt satotulokset neljästä koejäsenestä yhden niiton korjuussa vuosilta 2011, 2012 ja 2013. Sato (kg ka ha⁻¹) sisältää myös rikkakasvit. Koe oli perustettu v. 2010 eli nurmen ikä oli 1, 2 ja 3 vuotta. VH= vuohenherne; RH=ruokohelpi; TI=timotei, PA=puna-apila. Taulukossa samalla sarakkeella olevat keskiarvot, joiden takana on sama kirjain, eivät poikke merkittävästi toisistaan.

Taulukko 7: Jokioisissa ja Sotkamossa saadut ensimmäisen ja toisen niiton kuiva-ainesadot (kg ka ha⁻¹) neljästä kasvilajiseoksesta koejäsenestä A2, joka niitettiin kaksi kertaa kasvukaudessa. Tulokset vuosilta 2011 ja 2012. Samoilta vuosilta myös kerran kasvukaudessa niitettujen (A1) koejäsenten keskimääräinen sato. Yhdellä korjuulla saadun sadon osuus prosentteina kahdella niitolla saadusta sadosta. Kasvilajit: VH= vuohenherne, RH= ruokohelpi; TI= timotei; PA= puna-apila.

Kasvilajiseokset	A2 1.n. 2011	A2 1.n. 2012	A2 2.n. 2011	A2 2.n. 2012	Kokonaissato keskim. vuodessa: A2	Kokonaissato keskim. vuodessa: A1	A1:n sato prosentteina A2:n sadosta
	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	kg ka ha ⁻¹	%
VH+RH	3336 c	5152 a	3726 b	3353 a	7784 b	7128 a	92
VH+TI	4330 b	4943 a	2894 c	2524 b	7345 b	6354 b	87
TI+PA	6345 a	5413 a	4366 a	2628 b	9376 a	7531 a	80
RH	3510 c	3257 b	2671 c	1717 c	5578 c	5760 c	103

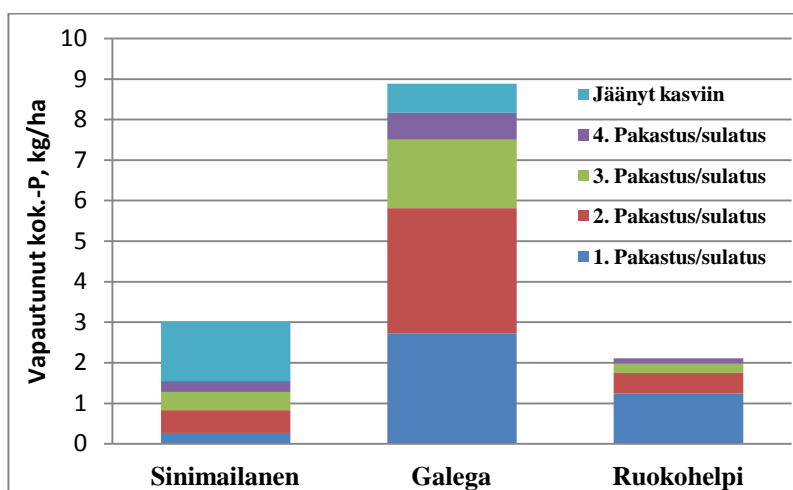
Sekä Sotkamossa että Jokioisissa timotei-puna-apilaseos oli satoisin kaksi kertaa kasvukaudessa korjattuna. Kerran kasvukaudessa korjattaessa timotei-puna-apilan ja vuohenherne-timoteiseosten väliset erot eivät olleet suuret. Ensimmäisenä satovuonna timotei-puna-apilasadot olivat suuremmat. Erot olisivat olleet vielä suuremmat jos kasvustot olisi perustettu suojaviljaan. Aikaisempien kokemusten mukaan suojaviljaan perustaminen ei sovi vuohenherneelle. Timotei-puna-apilaseos tuotti kahdella niitolla muita koejäseniä selvästi suuremman sadon. Sillä oli suurin satoetu kahdella korjuulla yhteen korjuuseen nähden. Tässä kokeessa toinen korjuu tehtiin aivan kasvukauden päättyessä. Yhdellä

niitolla saatiin palkokasviseoksista 80-92 prosenttia kahden niiton kuiva-ainesadosta. Ruokohelpillä saatiin yhdestä niitosta kasvukaudessa hieman suurempi sato kuin kahdesta niitosta.

Vuohenherneestä vapautui jäätymis-sulamis-kokeessa fosforia yli 8 kg ha⁻¹ ja typpeä 25 kg ha⁻¹. Ruokohelvestä ja sinimailasesta vapautui veteen vähemmän ravinteita kuin vuohenherneestä (Taulukko 8). Kasvustot niitettiin 25.7.2012 ja näytteet kevätluhtoutumia varten otettiin 25.10.2012.

Taulukko 8. Vuohenherneen, ruokohelven ja sinimailasan toisen niiton kuiva-ainesadot sekä talveksi jääneestä kasvustosta jäätymis-sulamis-kokeessa vapautunut kokonaisfosfori ja -typpi sekä kasveihin jäänyt fosfori- ja typpimäärä.

Kasvi	Ensimmäisen niiton kuiva-ainesato 25.7.2012	Talveksi jääneen kasvuston kuiva-ainesato	Vapautunut kokonaisfosfori	Vapautunut kokonaistyyppi	Kasviin jäänyt fosfori	Kasviin jäänyt typpi
			kg ha ⁻¹			
Vuohenherne	5320	4780	8,2	25	0,7	75
Ruokohelpi	3390	1100	2,1	4,0	0	25
Sinimailanen	e.m.	2160	1,6	8,8	1,5	40



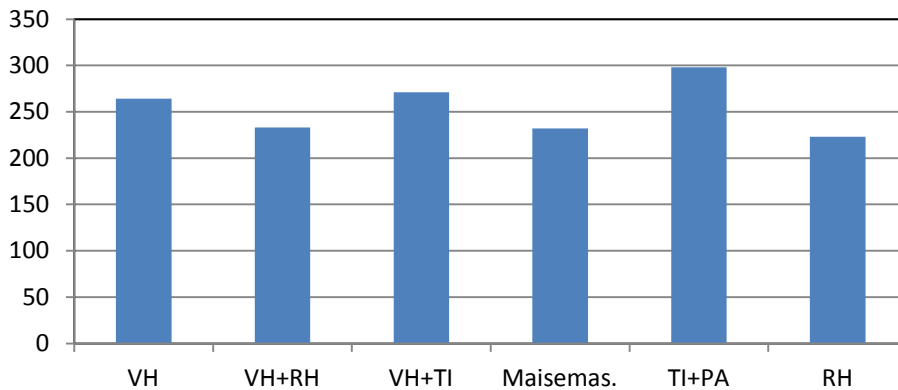
Kuva 14. Sinimailasesta, vuohenherneestä (galega) ja ruokohelvestä vapautunut kokonaisfosfori (kg ha⁻¹) neljän jäätymis-sulamis-tapahtuman aikana. Vaaleansininen väri kuvaa kasviin jääneen fosforin määrää.

Kenttäkokeiden nurmibiomassan kaasuntuotannon arviointi

Eri seosten biomassan potentiaalinen metaanin tuotto määritettiin MTT:n koeputkilaitteistolla v. 2013 kerran kasvukaudessa (23.7.2013) niitetyistä koejäsenistä. Määrittämisä oli neljä eli yksi kutakin näyteruutua kohti (Kuva 15). Metaanin tuotto oli 220-300 m³/ton ka. Seosten ao. niiton kuiva-ainesadon ja metaanin tuottopotentiaalin avulla laskettiin potentiaalinen energiasato hehtaaria kohti (kuva 16). Timotei-puna-apilaseos tuotti kerran korjattuna noin 20 MWh hehtaaria kohti (Kuva 16) vuoden 2013 satotuloksella 6888 kg ka ha⁻¹. Jos energiasato lasketaan vuosien 2011-2013 timotei-puna-apilan keskisadolla 7531 kg ka ha⁻¹ (Taulukko 7) niin energiasadosta saadaan hieman korkeampi. Korkein energiasatoarvio 28 MWh ha⁻¹ saadaan kun timotei-puna-apilan mitattu energiantuottopotentiaali (298 CH₄ m³ / ton ka) kerrotaan kahden niiton kokonaissadolla 9376 kg ka ha⁻¹ (Taulukko 7). Tarkastelussa on otettava huomioon, että koska perustamisvuonna satoa ei korjattu niin kolmelle vuodelle laskettuna keskisato olisi 6250 kg ka ha⁻¹ ja energiasato vuotta kohti vastaavasti 18,6 MWh ha⁻¹.

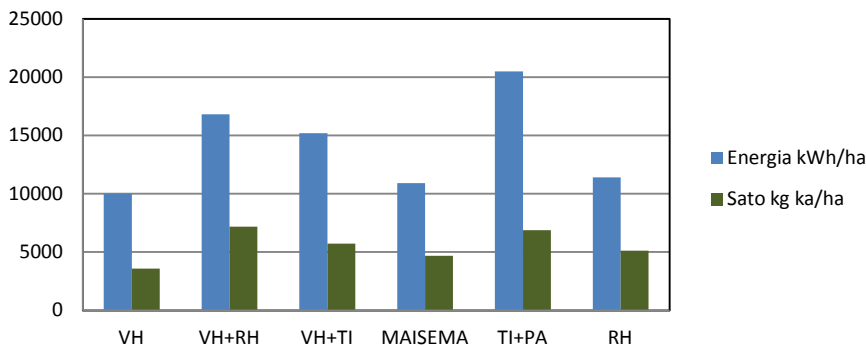
Biokaasutusta kokeiltiin Sotkamon tutkimusasemalla myös 4 m³:n pilot-reaktorilla 21.12.2012 alkaen. Kenttäkokeen sadoista tehtiin säilörehua kolmeen kuution kokoiseen säiliöön kesällä 2012. Rehu tehtiin sellaisilta ruuduilta, joilla kasvoi pelkästään rehuvuohenhernettä tai rehuvuohenhernettä seoksena timotein tai ruokohelven kanssa. Rehunteossa käytettiin säilöntäaineena Kofasil Ultraa. Reaktoriin syötettäessä rehu silputtiin hienoksi. Rehun TS % (kuiva-aine) oli 30,5, ja VS % (orgaaninen kuiva-aine) 28,5.

**Metaanisaanto ($\text{CH}_4 \text{ m}^3/\text{ton TS}$) eri seoksista. Niitto
23.7.2013 Jokioisissa.**



Kuva 15. Jokioisten 23.7.2013 korjastun seoskokeen metaanintuottopotentiali $\text{CH}_4 \text{ m}^3$ tonnia kuiva-ainetta kohti koejäsenittäin. Neljän ruudun sadon keskiarvot kullakin koejäsenellä. VH= vuohenherne, RH= ruokohelpi, TI=timotei, Maisemas.=mukana mm. sinimailasta; PA=puna-apila.

Seosten energia- (kWh/ha) ja kuiva-ainesato (kg ka/ha) Jokioisissa v. 2013. Yksi niitto 23.7.2013.



Kuva 16. Jokioisissa 23.7.2013 korjatun seoskokeen kuiva-ainesadot (kg ka ha^{-1}) ja seosten potentiaalisella kaasuntuotolla lasketut hehtaarikohtaiset energiasadot (kWh ha^{-1}). VH= vuohenherne, RH= ruokohelpi, TI=timotei, Maisemas.=mukana mm. sinimailasta; PA=puna-apila

Biokaasureaktorissa oli ennestään nautanlantaymppi. Tavoitteena oli syöttää reaktoriin arkipäivisin rehua 50 kg/pv. Kaikkiaan rehua syötettiin 1412 kg. Koe tehtiin panoskokeena. Massan syötön kanssa oli hankaluuksia, ja kokeen jatkaminen jatkuvatoimisena olisi vienyt kohtuuttomasti aikaa. Syöttöruuvi ei kuljettanut näin kuivaa massaa vaikeuksitta reaktoriin. Vettä ei kuitenkaan lisätty. Itse reaktorissa prosessi sujui hyvin. Lämpötila pidettiin 37°C :ssa. Koe kesti kaikkiaan 102 päivää. Metaanin tuotto oli keskimäärin $78 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tnFM}$ = noin 78 öljylitran energia tonnista rehua. Orgaanista kuiva-ainetonnista kohti metaanisaanto oli $275 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{tnVS}$. Metaanipitoisuus oli keskimäärin 56 %. Tulokset ovat linjassa kirjallisuudesta löydettyjen arvojen kanssa. pH oli melko tasainen, keskimäärin 7,5, ja hieman kohosi loppua kohti. Metaaniprosentti on riittävä kaasun hyödyntämiseksi. Se kertoo toimivasta prosessista. Pilot-reaktorikeessä saadut metaanisaannot ovat kirjallisuusarvoja alhaisempia. Tämä selittyy todennäköisesti kokeen mittakaavalla. Laboratorioolosuhteissa ja pienessä mittakaavassa metaanisaanto on yleensä parempi kuin suuremmassa mittakaavassa.

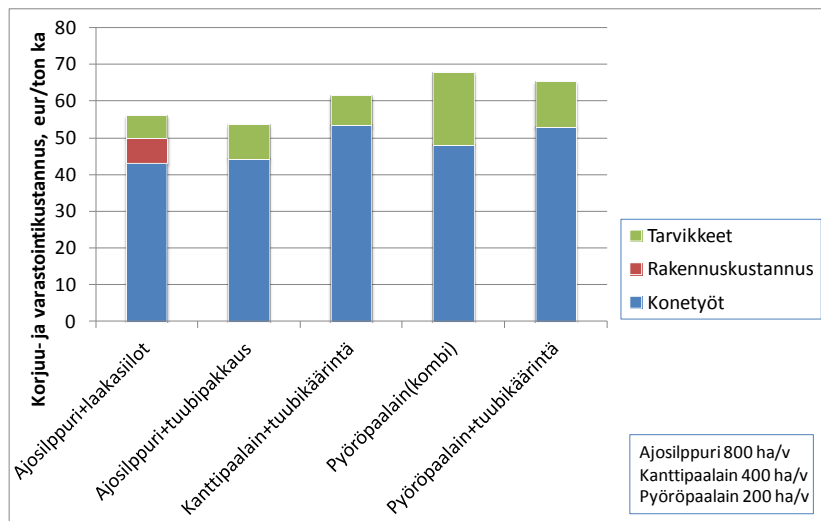
Tulostivistelmä 2.2.2.: Yksi niitto myöhään kasvukaudella on suositeltavin niittoajankohta. Vaikka nuorten kasvinosien fosforipitoisuudet ovat suurempia kuin vanhojen, eniten fosforia on yleensä kasvustoissa, joilla on suuri maanpäällinen biomassa. Myös fosforihuuhtouma saattaa olla suuri näistä kasvustosta. Tämän takia voidaan suositella niittoa heinä- elokuun vaihteessa ja niitoksen korjaamista, kun pyritään vähentämään talviaikaisia fosforihuuhtoumia. Timotei-puna-apilaseos on sopiva jos pyritään korkeaan biomassasatoon. Jos kasvustoa ei korjata, siitä saattaa vapautua runsaasti fosforia ja tyypeä seuraavan talven ja kevään aikana. Samoin runsaasti fosforia voi vapautua vuohenherneestä ja ruokohelvestä, jos niiden kasvustoja ei korjata ennen talven tuloa. Vanhojen HVP-nurmien satoisuutta voisi kohentaa apilan suorakylvöllä (suorakylvä ei ole sallittua nykyohjeistuksissa). HVP-nurmiin biologisesti sitoutunutta tyypeä voidaan hyödyntää seuraavan kasvin viljelyssä. Nurmien sisällyttäminen viljelykiertoon parantaa maan rakennetta ja muokkautuvuutta kasvinviljelytiloilla pitemmän ajan kuluessa. HVP-lohkoilta voidaan tuottaa energiaa yli 20 MWh ha^{-1} vuodessa kun kasvustot on perustettu nurmipalkokasviseoksilla.

2.2.3. Korjuukustannustarkastelu ja biomassan saatavuus

Korjuukustannusten arviointi

Osion tavoitteena oli laskea korjuu- ja varastointikustannukset korjuuketjuille, jotka soveltuisivat laajamittaiseen, urakointiin perustuvaan nurmen korjuuseen. Tarkastelussa olivat ketjut: 1) Ajosilppuri+laakasiilot, 2) Ajosilppuri+tuubipakkaus, 3) Kanttipaalain+tuubikäärintä, 4) Pyöröpaalain(kombi) ja 5) Pyöröpaalain+tuubikäärintä. Näille laskettiin korjuun ja varastoinnin kustannukset TTS-Kone-ohjelmaa ja taulukkolaskinta käyttäen. Perusmalleissa pyöröpaalaukseen perustuvilla ketjuilla koneiden käyttömääräksi oletettiin 200 ha/v ja kanttipaalaukseen 400 ha/v sekä ajosilppuriin perustuvissa ketjuissa 800 ha/v. Mallit laadittiin siten, että biomassaa varastoidaan kaikissa ketjuissa biokaasulaitoksen pihaan ja laitoksen syötteeksi saadaan paalausketjuissakin biokaasureaktoriin sopivaa silppua, ts. paalausketjut sisältävät paalien silppuamisen. Keskimääräinen kuljetusetäisyys on peruslaskelmassa 6 km.

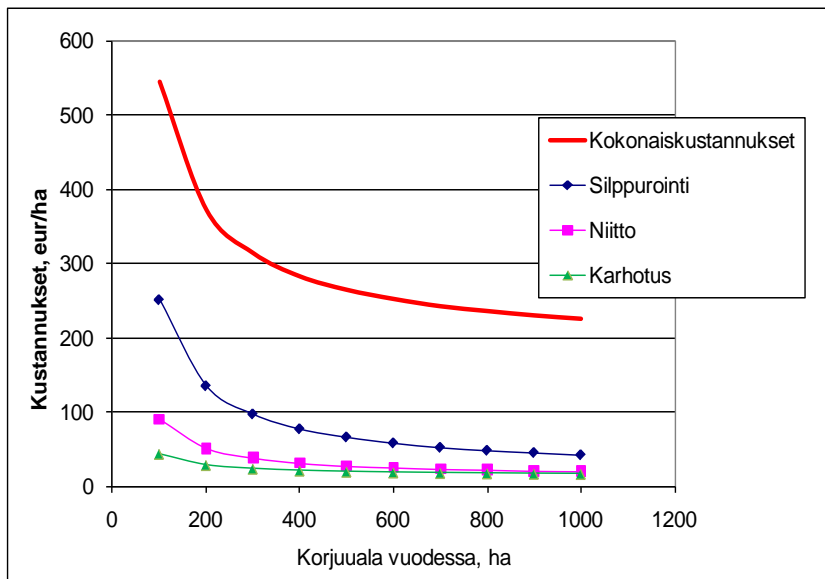
Edullisinta oli ajosilppurin tekemän irtosilpun pakkaaminen halkaisijaltaan 2,4 m:n tuubiin (54 e/ ton ka) ja kalleinta säilöntä yksittäin käärittyihin pyöröpaaleihin (68 e/ ton ka) (kuva1). Ajosilppurin ja laakasiilojen yhdistelmää pidetään yleisesti edullisena korjuutapana suurten rehumäärien ollessa kyseessä. Muovikustannus on menetelmässä hyvin alhainen, mutta kustannuksia tulee siilojen hankintahinnasta ja irtosilppukuormien keveydestä verrattuna paalaukseen perustuviin ketjuihin. Menetelmien välisten erojen pienuus on sikäli hyvä asia, että tilanteen mukaan voidaan valita mikä tahansa kuvan 1 mukainen korjuumenetelmä, eivätkä kustannukset kuitenkaan kasva radikaalisti.



Kuva 17. Biomassan korjuun ja varastoinnin kustannukset urakointitason menetelmillä. Kuljetusetäisyydeksi on oletettu 6 km ja paalaukseen perustuvat menetelmät sisältävät myös paalien silppuamisen.

Koneiden ja rakennusten kustannuksista suuri osa on kiinteitä (korko ja poisto), eli suhteellisen riippumattomia käyttömääristä. Mallin avulla tutkittiin kuinka paljon säilörehun korjuuseen hankitun kaluston kustannukset alenisivat, jos sille tulisi merkittävä määrä uutta käyttöä vuosittain, eli tässä tapauksessa biokaasunurmen korjuuta.

Kuvan 18 mukaan koneiden hehtaariohittaiset kustannukset alenevat jyrkästi käyttömäärän kasvaessa 100 ha:sta 300 ha:iin vuodessa, minkä jälkeen lasku on maltillisempaa. Jos esimerkiksi ajosilppurin vuotuinen käyttömäärä kaksinkertaistuu 400 ha:sta 800 ha:iin, korjuukustannukset alenevat laskennallisesti 29 e/ha eli sadon ollessa 4 ton ka/ha alenema on noin 7,3 e/ton ka. Toisaalta tilanne ei ole välttämättä näin selkeä, koska käyttömäärän voimakkaasti kasvaessa, kone täytyy vaihtaa pikemmin uuteen. Mahdollisesti yrittäjien näkökulmasta ha- tai tuntikustannusta ei voi alentaa edellä mainitusta syystä.

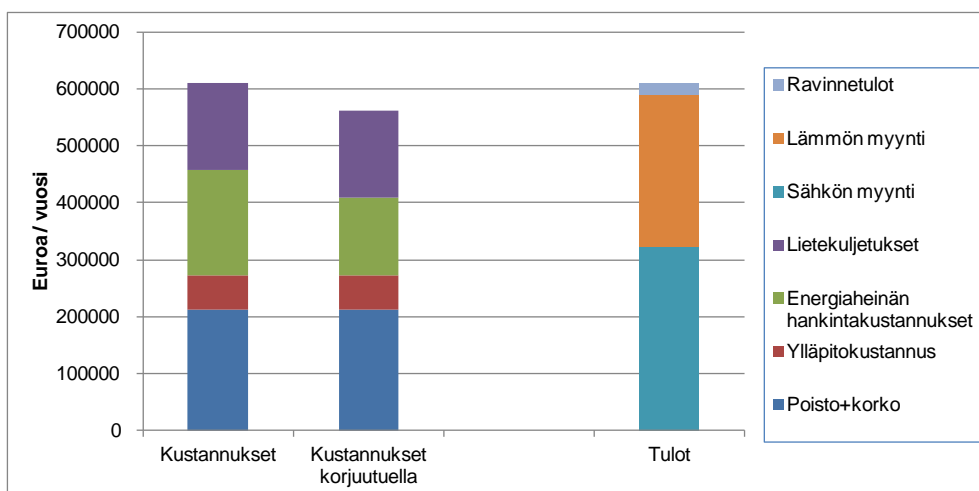


Kuva 18. Ajosilppuriketjun koneiden ha-kustannukset vuotuisen käyttömäärän kasvaessa.

Herkkystarkaselussa tutkittiin peltojen ja biokaasulaitoksen välisen keskietäisyyden ja varastoinnissa käytettävän muovin hinnan muutosten vaikutusta. Silppurikorjuun kustannukset ovat paalauskorjuuta alemmat lyhyillä ajomatkoilla ja vasta n. 25-30 km kuljetusetaisyydellä paalausketju tulee tarkkuussilppurikorjuuta edullisemmaksi. Tällöin silppuriketjussa täytyisi olla jo 9 perävaunuyhdistelmää siirtämässä rehua varastopaikalle. Jos käärintä- ja aumamuovin hinta nousisi 1,5 kertaiseksi, silppuriketjun kustannukset nousisivat vain 0,3 e/ton ka, mutta yksittäispaalauksessa kustannusnousu olisi 6,3 e/ton ka. Pyöröpaalien tuubikäärinnässä kustannukset nousisivat 2,6 e/ton ka.

Hehtaarisadon lisääntyminen 4:stä 7 tonniin ka/ha alensi kustannusta 4 – 6 e/ton ka. Sadon korjaaminen kahdessa erässä yhden korjuukerran sijasta puolestaan kasvatti korjuukustannusta 5 – 8 e/ton ka. Mallissa on käytössä tuntipohjainen hinnoittelu, jolloin korjuukertojen lisääminen ei suuresti vaikuta tonnikohtaiseen korjuukustannukseen. Sen sijaan, jos urakoitsija käyttää hehtaarikohtaista hinnoittelua kaikissa työvaiheissa, voi korjuukertojen lisääntyminen yhdestä kahteen jopa kaksinkertaistaa tonnikohtaisen korjuukustannuksen.

Lisäksi arvioitiin, olisiko HVP- nurmeen perustuva sähköä ja lämpöä tuottava biokaasulaitos kannattava. Laskelma on lähinnä suuntaa antava. Ederin (2012) mukaan peltobiomassaa käyttävän biokaasulaitoksen yksikkökustannukset eivät merkittävästi enää alene, kun laitostekniikka ylittää 500 kW:n sähkötehon. Tällaisen laitoksen lämpöteho on noin 1 MW ja investointikustannukset 2,2 milj. e. Investointikustannukset voivat vaihdella paljonkin, eikä niistä ole kirjallisuudessa yksimielisyyttä. Korkotasona käytettiin 5 % ja takaisinmaksuaikana 15 v. HVP-nurmea tämänkokoisen laitoksen tarvitsisi 830 ha, jos keskisato olisi laskelmissa käytetty 4 ton ka/ ha.



Kuva 19. Pelkästään nurmea käyttävän biokaasulaitoksen kustannukset ja tulot (Huom! Laskelma on lähinnä suuntaa antava). Laitoksen sähköteho 0,5 MW ja lämpöteho 1 MW. Energiaheinälle ei makseta kantohintaa ja kaikki lämpö on saatu hyötykäyttöön. Syöttötariffi on huomioitu tuloissa. Lisäksi on esitetty vaihtoehto, jossa korjuulle maksettaisiin 60 e ha⁻¹ suuruisen tuki (lähteet: Eder 2012, Taavitsainen 2011).

Tarkasteltu laitos voi saada joko investointitukea tai syöttötariffin mukaisen korkeamman sähkönhinnan (max. 13,5 c/kWh). Esimerkkitapauksessa syöttötariffin valitseminen oli kannattavampi vaihtoehto. Lämmön myyntihintana käytettiin 65 e/MWh. Biokaasulaitoksen kannattavuus näyttää haasteelliselta, mutta ei aivan mahdottomalta (kuva 19). Lämpö olisi

saatava myytyä täysimääräisesti, heinälle ei voida maksaa kantohintaa sekä korjuu- ja varastointikustannukset on saatava 55 eur/ton ka tuntumaan. Laitoksen ei ole oletettu tuottavan alkuvaiheessa minkäänlaista voittoa, mikä voisi olla tarpeen riskitekijöiden torjumiseksi. Oletuksista lämmön täysimääräisen myynnin toteutuminen on haasteellinen. Laitoksen olisi hyvä sijaita lähellä suurta kaukolämpöverkkoa, jotta lämpö menisi kaupaksi kesälläkin käyttöveden muodossa. Viljelijöiden voisi olla perusteltua luopua HVP-heinästä ilmaiseksi, jos biokaasulaitos hoitaisi korjuun ja ravinteet palautettaisiin korvauksetta tilan peltolohkoille seuraavana kasvukautena. Erityisesti luomuviljelijöille tämä voisi olla hyvä vaihtoehto, koska tällöin he saisivat siirrettyä viherlannoitusvaikutusta HVP-lohkojen ulkopuolisille lohkoille. Korjuukustannuslaskelman mukaan 55 e/ton ka korjuu- ja varastointikustannukset ovat saavutettavissa, mikäli keskimääräinen ajomatka ei ole merkittävästi yli 6 km lohkojen ja biokaasulaitoksen välillä.

Järjestelmän kannattavuutta voitaisiin parantaa esimerkiksi HVP-heinän korjuutuella. Ympäristösyistä tämä voisi olla perusteltua, koska silloin muodostuneen nurmisadon ravinteet olisivat biokaasulaitoksen varastoissa ”turvassa” kasvukauden ulkopuolisen ajan, eivätkä alttiina huuhtoutumiselle tai haihtumiselle pakkasten ja sateiden seurauksena. Mikäli HVP-heinän korjuu biokaasun raaka-aineeksi saisi esimerkiksi 60 e/ha suuruisen tuen, alenisivat esimerkkilaitoksen kustannukset 8 % tehden siitä lievästi kannattavan (kuva 194). Vertailun vuoksi lietelannan sijoittaminen peltoon sijoituslaitteen avulla saa tukea 56 e/ha.

HVP -lohkojen kokotarkastelu ja biomassaresurssin saatavuus arviointi

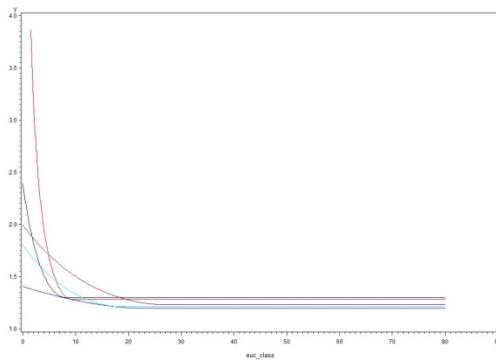
MAVIN vuoden 2010 peltolohkoaineiston avulla tarkasteltiin HVP pellon käyttöluokkien lohkojen kokoa ja lukumääriä. Lohkot luokiteltiin koon perusteella neljään neljännekseen. Pienimmän neljänneksen yläraja ja suurimman neljänneksen alaraja (ha) olivat seuraavat: LHP (nurmikasvit vähintään 2 v) 0,38 ja 1,45 ha; viherkesanto 0,39 ja 1,61 ha, ja suojaväyhykenurmi 0,44 ja 1,45 ha. Yli 60 prosenttia kaikkien kolmen käyttöluokan pinta-alasta muodostuu kooltaan suurimman neljänneksen lohkoista (Taulukko 9 +). Suurimman neljänneksen pinta-alakertymä on yli 78 000 ha luonnonhoitonurmella ja yli 27 000 ha viherkesannolla eli runsaat 105 000 ha. Lohkot ovat kooltaan vähintään 1,45 ha.

Taulukko 9. Pinta-alakertymä (ha) koko maassa lohkojen eri kokoluokissa.

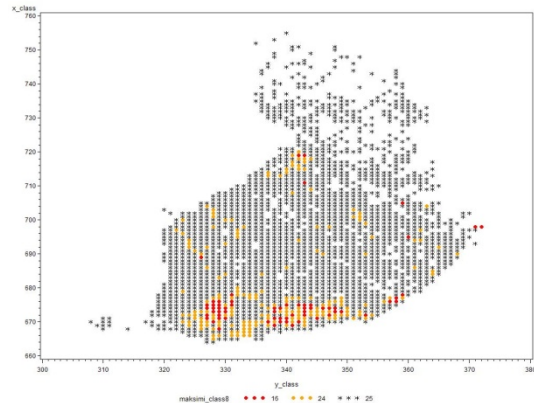
	Lohkoja koko maassa (kpl)	Pinta-ala (ha) eri lohkojen kokoluokka neljänneksittäin. Lohkot on lukumäärän perusteella eri kokoluokkiin. Lohkokokoluokka pienimmästä suurimpaan ja pinta-ala kussakin luokassa (ha)			
	kpl	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
LHP nurmi	113912	6174	15437	29647	78113
Viherkesanto	34012	1787	4931	9790	27441
Suojaväyhyke	6212	341	847	1601	4656

Otanta-alueilta tarkasteltiin kuinka paljon HVP-alaa yksittäisillä viljelijällä on. Yksittäisellä viljelijällä oli luonnonhoitonurmialaa keskimäärin 3,6 ha, viherkesantoa 2,6 ha ja suojaväyhykenurmea 2,6 ha kukin kategoria itsenäisesti laskettuna. Luonnonhoitonurmi- ja viherkesantoalaa oli tilalla yhteensä keskimäärin 3,9 ha. Kun tarkasteltiin tilakoon perusteella suurimman neljänneksen tiloja oli luonnonhoitonurmialaa vähintään 6,7 ha, viherkesantoalaa 5,3 ha ja suojaväyhykenurmia 4,8 ha. Ao. tiloilla luonnonhoitonurmi ja viherkesantoalaa oli yhteensä vähintään 7,3 ha. Johtopäätelmä on, että valtaosa HVP-lohkojen kokonaispinta-alasta muodostuu suurimman neljänneksen lohkojen pinta-alasta. Vastaavasti valtaosa lohkoista on niin pienikokoisia, että niiltä korjuu bioenergiaksi ei liene järkevää. Esimerkiksi ao. pinta-alan kohdentaminen monimuotoisuutta edistävin toimin voisi olla järkevää.

Missä HPV-lohkot sijaitsevat ja millä kuljetusmatkalla saataisiin riittävä raaka-ainemäärä? Hankkeessa kehitettiin biomassaresurssin saatavuuden arviointiin laskentakaava, jonka avulla voidaan kätevästi hahmottaa biomassaresurssien saatavuutta eri alueilta muuttujien arvoa (tarvittava määrä, kokoko, pellonkäyttöluokka jne, oletettu sto/ha jne) säätämällä.



Kuva 20. Maantie-etäisyyden ja linnuntie-etäisyyden suhde eripituisilla matkoilla ja erilaisilla tiestöalueilla tehdyissä tarkasteluissa. Suhde vakiintuu noin 10 km:n etäisyyksistä alkaen.



Kuva.21. Kuvaus kuljetusmatkoista määritellyn kokoiselle biomassatarpeelle HVP-lohkoilta määrättyjen rajausten perusteella. Kuljetusmatka olisi lyhin punaisilla ja keltaisilla alueilla.

Tulostiivistelmä 2.2.3.:

Korjuu- ja varastointikustannukset olivat halvimmillaan tarkkuussilppuriketjulla (54 e/ton ka) ja kalleimmillaan pyöröpaalausketjulla (68 e/ton ka). Koneiden vuotuinen käyttömääräoletus (h/v) vaikuttaa paljon kustannuksiin. Biomassanurmi voi tarjota urakoitsijoille uusia työmahdollisuuksia säilörehunkorjuuajan ulkopuolella ja siten auttaa alentamaan konekustannuksia. Pyöröpaalausketjussa muovin hinnan nousu vaikuttaa voimakkaasti kustannuksiin, mutta silppuriketjussa vain vähän. Kustannusten säästämiseksi biokaasunurmi kannattaa pyrkiä korjaamaan vain kerran kesässä kahden korjuukerran sijasta. Korjuu- ja varastointikustannukset ovat korkeita suhteessa saatavan energian arvoon. Biokaasusähkö kaipaisi lisää kannustimia (mm. korkeampaa sähkön hintaa tai korjuutukea), jotta sen tuottaminen HVP-heinäillä olisi taloudellisesti järkevää. Lisäksi hukkalämmölle pitäisi kehittää järkeviä käyttökohteita. Pinta-ala kertyy suurilta HVP-lohkoilta, joilla lohkon pienenä ei enää lisää korkuuskustannuksia.

2.3 Toteutusvaiheen arviointi

Lupa Maaseutuviraston lohkotietoaineistojen käyttöön oli välttämätön hankkeen toteuttamiselle ja lupa saatiin MAVIsta nopeasti. Otannat saimme tehtyä nopeasti, mutta monet viljelijät olivat aloitusvuonna jo niittäneet kasvustot ennen kuin saimme heihin yhteyttä. Yleensäkin kasvustot niitetään kasvukaudella aiemmin kuin oletimme. Näytteiden keruu maataloilta – pisimmillään runsaan sadan kilometrin päässä lähtöpaikasta – on altis mm. sään muutoksille. Kasvuston kosteuspitoisuuden määrittämisessä voi tulla huomattavia virheitä jos kasvustot ovat punnittaessa märkiä. Sää tiedotukset ja sadetutkakartat auttoivat hyvin välttämään hukcareissut. Ajomatkojen vuoksi työtuntikertymät muodostuvat keruupäivinä suuriksi. Kustannustehokkaampaa olisi käsitellä näytteet otosalueella ja käydä ao. alueen näytekartoitus alueen tukikohdasta (esim. paikalliselta maatalousoppilaitokselta) käsin. Tällainen näytteiden keruustrategia mahdollistaisi tarvittaessa useamman otanta-alueen käytön.

Biokaasutuotantopotentiaalin mittaamisanalytiikka kehittyi MTT:llä hankkeen aikana. Vuonna 2012 ja 2013 pystyttiin määrittämään pakastetuista ja tuoreinäytteistä metaanintuottopotentiaali.

Maanäytteiden analysoinnissa tapahtui ajoitusvirhe sillä vuonna 2010 otetuista maanäytteistä tehtiin ensin viljavuusanalyysit, mutta jauhatuksen jälkeen maalajimäärityksen tekeminen ei ole enää mahdollista. Maalajitietojen kerääminen tiloilta jäi aukkoiseksi. Lohkojen ravinneanalyysitietojen tulkinnassa maalajitieto on tarpeellinen. Vuonna 2011 maalaji määritettiin näytteistä ennen viljavuusanalyysia.

Hankkeelle saatu jatkoaika oli tarpeen kenttäkokeiden ja laatuanalyysien loppuun saattamiseen. Myös saatujen tulosten julkaiseminen on edelleen kesken. Hankkeeseen osallistui monia työtekijöitä. Työaikakirjauksia on yhteensä 71:ltä suoraan hankkeen käytännön toteutukseen osallistuneelta MTT:n työntekijältä, Yhdenkään tutkijan kokonaistyöpanoksesta hankkeen osuus ei ollut kovin suuri. Hankkeen keskeisten tutkijoiden kokonaistyöajasta hankkeen osuus oli 1.4.2010-30.11.2013 välisenä aikana 5-17 prosenttia eli 1-4 henkilötyökuukautta neljän vuoden aikana. Osallistuvien henkilöiden suurempi panostus yhteen (tässä tapauksessa tähän) hankkeeseen nopeuttaisi etenemistä ja todennäköisesti myös tehostaisi tutkijoiden välistä yhteistyötä. Toisaalta hanke oli sen tyyppinen, että eri työ- ja analyysivaiheiden välillä tarvittiin aikaa ja

mm. analyysimenetelmät kehittyivät hankkeen aikana. Yhteistyö oli tutkimusryhmän sisällä hyvä, ja erityisasiantuntemukset täydensivät hyvin toisiaan ja vastasivat tarvetta.

2.4 Julkaisut

Hankkeesta ilmestyneet julkaisut sekä käsikirjoitukset esitetään liitteessä 2.

3. Tulosten arviointi

3.1 Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

HVP-ala on huomattavan suuri. Vuonna 2013 viherkesantoa oli 45 274 ha, monivuotista LHP-nurmea 124 500 ha ja suojaväyhykenurmea 7371 ha eli yhteensä 177 145 hehtaaria. Tutkimus kohdistui tähän alaan. Samantyyppistä tuotantoa on lisäksi myös LHP-maisema (921 ha) ja LHP-niitty (4475 ha) sekä ruokohelpi (8428 ha). Myös viherlannoitusnurmesta (48937 ha) voisi olla mahdollisuus käyttää osa energian tuotantoon. Yhteensä alaa on lähes 240 000 ha. Useat näytteiden hakumatkalla tavatut viljelijät kokivat tärkeäksi kehittää HVP-peltojen sadolle hyödyllistä käyttöä ja toivoivat bioenergiatuotannon kehittyvän käytännön ratkaisuksi.

HVP-peltolohkoja pidetään yleisesti pieninä peltokaistaleina ja niiden ajatellaan sijottuvan huonoimmille kasvupaikoille. Tutkimuksen mukaan valtaosa HVP-lohkojen pinta-alasta kuitenkin kertyy kohtuullisen kokoisilta lohkoilta, eikä sadonkorjuun kustannusten kannalta lohkokoon kasvattaminen alentaisi korjuukustannuksia merkittävästi. Viherkesanto ja LHP- nurmi väh. 2 vuotta luokkien suurimman lohkokoon neljänneksen pinta-ala on n. 105 000 ha. Valtaosa lohkoista on kuitenkin niin pienikokoisia, että niiltä korjuu bioenergiaksi ei liene järkevää. HVP-alan eriyttäminen pienillä lohkoilla kasvuston monimuotoisuutta edistäviin tavoitteisiin ja suuremmilla lohkoilla bioenergian tuotantoon voisi olla järkevää. HVP-pellot on yksi keino edistää viljeltyjen maatalousalueiden kasvilajiston monimuotoisuutta. Vieraskasvilajien levinnästä kesantojen kautta ei tarvitse olla huolissaan tällä hetkellä.

Hankkeessa kehitetty laskentakaava arvioida MAVIn lohkotietorekisterin avulla biomassaresurssien saatavuutta eri alueilla soveltuu monen resurssin tai markkinan arviointiin. Esimerkiksi urakoitsija voi arvioida ruiskutus- tai sadonkorjuualan määrää omalla toiminta-alueella. Laskentakaava sopii bioenergiailaitoksen resurssipohjan hahmottamiseen jos syötteenä käytettäisiin erilaisia kasvinviljelyn biomassoja tai sivuvirtoja. Vastaavasti kuljetusmatkat mädätejännöksen levittämiseen voidaan arvioida vaihtoehtoisille biokaasulaitoksen sijoituspaikoille.

Valtaosa (yli 60 prosenttia) HVP-lohkojen pinta-alasta kertyy suurimmilta lohkoilta (suurin neljännes), joiden koko on riittävä tehokkaaseen korjuutapaan. Bioenergiatuotanto tulisi kohdistaan näille lohkoille. Valtaosa HPV-lohkojen lukumäärästä voitaisiin kohdentaa esimerkiksi luonnon monimuotoisuutta edistävään toimintaan.

Mikä olisi HVP-lohkoilta saatavissa olevan biokaasun/bioenergian määrä? Tutkimuksessa arvioitujen biomassasatojen sekä metaanintuottopotentialin ja lohkokoon perusteella korjattavissa olevan pinta-ala-arvion perusteella voidaan hahmottaa olevien HVP-lohkojen energiantuottopotentialia. Suurimman lohkokoon neljänneksen viherkesantoala on 27 345 ha ja LHP-nurmen ala 77 688 ha. Suojavyöhykeala on 7371 ha eli yhteensä runsaat 112 000 ha. Kun keskisatona käytetään 4,99 tonnia kuiva-ainetta ja kaasuntuottopotentialina 255 CH₄ m³/tonnia kuiva-ainetta kohden niin hehtaarilta saatava energiasato olisi noin 12,7 MWh ha⁻¹ ja ao. alan energiantuottopotentiali noin 1,4 TWh. Perustamalla bioenergian tuotantoon kohdistetut HVP-lohkot timotei-puna-apilaseoksella voitaisiin kuiva-ainesatoa ja energiasatoa kohottaa tuntuvasti. Tutkimuksessa kaksi kertaa kasvukaudessa korjatusta timotei-puna-apilakasvustosta oli saatavissa 28 MWh ha⁻¹ energiasato. Timotei-puna-apilakasvustojen niitto kaksi kertaa kasvukaudessa olisikin suositeltavaa ravinnehuutoumariskin pienentämiseksi jos talveksi on jäämässä runsas odelmakasvusto. Nykyisistä kasvustoista arvioitu saatavissa oleva energiamäärä on hieman vähemmän kuin maatila- ja puutarhayritysten vuosittainen sähköenergian käyttö (1,7 TWh).

HVP-lohkojen nykykasvustoista olisi korjattavissa mittava bioenergasato – noin. 12-13 MWh ha⁻¹ ja vain parhaiten korjuuseen soveltuvat lohkot hyödyntäen (112 000 ha) yhteensä 1,4 TWh. Jos kasvustot perustettaisiin biomassantuoton maksimoivilla nurmipalkokasviseoksilla niin energiasatoa voitaisiin merkittävästi lisätä. Timotei-puna-apilaseos on suositeltavin seos ja siitä voidaan saavuttaa yli 20 MWh ha⁻¹ energiasatoja.

Jos HVP-lohkoilla viljeltäisiin palkokasviseoksia niin biologisen typensidonnan merkitys yksittäisen tilan kannalta on suhteellisen pieni. Jos apilakasvuston esikasviarvoksi arvioidaan 40 kg N ha^{-1} lopetusta seuraavana vuonna, arvo olisi noin 40 e ha^{-1} lopetettavaa HVP- hehtaaria kohti. Tilan kannalta merkitys on pieni. Koko maassa vaikutus olisi kolmen vuoden uusimisillä $1,4 \text{ milj. e/v. } (105\,000 \text{ ha} / 3 \times 40 \text{ e ha}^{-1} / \text{v} = 35\,000 \text{ ha/v} \times 40 \text{ e ha}^{-1} / \text{v} = 1,4 \text{ milj. e/v.})$

Korjuukoneiden suurempi käyttöaste alentaa urakointihintaa myös muussa karkearehun korjuussa. Biomassanurmen korjuuaika ei mene päällekkäin säilörehun korjuun kanssa, ja karjatiloiilla saataisiin hyötyä säilörehun korjuukustannusten alenemisena. Tämän hankkeen korjuuketjujen kustannustarkastelut ovat hyvin käyttökelpoisia myös säilörehun korjuun korjuuketjun valintaan.

Biokaasulaitoksen kannalta laskentakaava biomassaresurssien saatavuuteen sekä mahdollisuuksiin levittää mädätejäännöstä pelloille on hyvin käyttökelpoinen. Bioresurssien saatavuuden kehitetty tarkastelu kuvaa nopeasti eri peltobiomassa raaka-aineiden saatavuuden laajalta alueelta. Yksityiskohtaiset tarkastelut voidaan kohdentaa lupaavimpiin kohteisiin.

Luonnonhoitopeltojen ja suojavyöhykkeiden nurmipeite vähentävät eroosiota. Nurmen niitto ja niitoksen poiskorjaaminen on tärkeää erityisesti fosforikuormituksen vähentämisen kannalta. Kasvuston korjaaminen lannoittamattomilta nurmilta köyhdyttää maaperää ja estää suoria fosforihuuhtoumia kasvibiomassan hajotessa. Niitto heinä-elokuun vaihteessa on suositeltavaa, koska tällöin talveksi maan pinnalle jäävän biomassan määrä on pienempi kuin niitettäessä aikaisemmin. Niittoaajankohdalla voidaan täten vaikuttaa seuraavan talvikauden fosforihuuhtoumaan. Tämän lisäksi nurmikasvustolla on hyvä vaikutus maan rakenteeseen, mutta sitä ei tässä kokeessa pystytty tutkimaan.

Luonnonhoitopeltojen ja suojavyöhykkeiden nurmipeite vähentävät eroosiota. Nurmen niitto ja niitoksen poiskorjaaminen on tärkeää fosforikuormituksen vähentämisen kannalta. Kasvuston korjaaminen nurmilta estää suoria fosforihuuhtoumia kasvibiomassan hajotessa. Niitto heinä-elokuun vaihteessa on suositeltavaa, koska tällöin talveksi maan pinnalle jäävän biomassan määrä on pienempi kuin niitettäessä aikaisemmin. Nurmikasvustolla on hyvä vaikutus maan rakenteeseen, mutta sitä ei tässä kokeessa pystytty tutkimaan.

Viranomaisten kannalta hankkeesta on saatavissa tietoa leikkuun ajankohdan ohjeistamiseen ja ravinteiden huuhtoutumisriskin arviointiin bioenergiasadon saannin hahmottamisen lisäksi. Tulosten vieminen käytäntöön edellyttää, että toiminta on järkevää sekä biomassaa käyttävän biokaasulaitoksen että kasvustoa luovuttavan viljelijän kannalta. Tarvittava biomassan korjuuala tehokkaan kokoiseen biokaasulaitokseen on niin suuri, että usean tuottajan yhteistyö on tarpeellista. Biokaasulaitoksen kannattavuus on vaikea saada riittävän hyväksi pelkästään tuotetun energian ja ravinteiden arvon perusteella. Jos uusiutuvan energian tuotannosta ja ravinteiden kierrätyksestä voitaisiin kehittää lisäarvoa tilan koko tuotannolle, biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelu saisi ulottuvuuden osana tilan koko liiketoimintakokonaisuutta. Mahdollisesti uusiutuvaa energiaa tuottava ja käyttävä sekä ravinteiden kierrätystä hyödyntävä tuotanto onnistuttaisiin brändäämään sellaiseksi tuotantotavaksi, jota harjoittavat tilat ja jalostavat laitokset voisivat saada päätuotteistaan hieman normaalia korkeamman hinnan luomutuotannon tyypillisesti. Esimerkiksi luomuvehnän ja –rukiin hintapremio on 60-90 prosenttia tavanomaisesti tuotetun viljan hintaan verrattuna. Tällaisessa tilanteessa tuki biokaasuliiketoiminnan harjoittamiseen tulisi kuluttajilta ja markkinoilta.

Käytettäessä HVP-lohkoja bioenergian tuotantoon tulisi ravinteiden kierrätys takaisin tilalle ja palkokasvinurmien biologinen typen sidonta sekä maan rakennetta ja muokkautuvuutta parantava vaikutus hyödyntää kasvinviljelytilan viljelykierrrossa. Bioenergian tuotantoon soveltuvat HVP-lohkot tulisi niveltää osaksi kasvinviljelytilan viljelykiertoa ja pienet HVP-lohkot voitaisiin kohdentaa pitkäikäisinä nurmina lisäämään kasvilajiston monimuotoisuutta.

Biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelussa olisi hyvä pohtia myös olisiko eri toimijoiden (biokaasulaitos, maatilat, jalostava teollisuus) yhteistyöllä saatavissa etuja, jotka lisäisivät kaikkien osallistuvien tahojen toiminnan kannattavuutta myös epäsuorasti kuten tuotantotavan luomalla myönteisellä kuvalla luomutuotannon tyypillisesti.

3.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Bioenergian tuotantoon soveltuvien biomassojen ja sivuvirtojen tuotantopotentiaalin tutkiminen on ollut vilkasta viime vuosina. Saadut tulokset vahvistavat vastaavien ulkomaalaisten selvitysten tuloksia, mutta lohkoittainen vaihtelu on tämän tutkimuksen mukaan suurta ja huomattavan suuriakin hehtaarisatoja mitattiin. Tämä perustuu siihen, että meillä myös HVP-lohkoilla on varsin tuore peltoviljelyhistoria Keski-Euroopan pysyviin nurmiin verrattuna. Lannoittamattomiltakin lohkoilta on korjattavissa huomattavan suuria hehtaarisatoja ainakin lyhytaikaisesti. Hankkeen tuloksilla voidaan arvioida mahdollisuuksia ravinteiden poistamiseen sellaisilta alueilta joilla maan fosforipitoisuus on korkea ja huuhtoutumisriski olemassa. Nurmibiomassan biokaasun tuottopotentiaali ei alene kasvukauden edetessä niin nopeasti kuin nurmirehun sulavuus alenee karjan ruokinnassa. Vanhankin nurmikasvuston metaanin tuottopotentiaali oli varsin suuri.

Katariina Yli-Heikkilä Tampereen ammattikorkeakoulusta tekemässä opinnäytetyössä ilmeni, että fosforipitoisuudet valumavedessä kuiva-ainegrammaa olivat suurimmat myöhäisestä niitosta. Sen sijaan aikaisen niiton jälkeen biomassan määrä syksyllä oli niin suuri, että potentiaalinen liukoisen fosforin päästö oli suurin kesäkuun lopulla suoritettuna niitossa ($6,5 \text{ kg ha}^{-1}$).

Kasvillisuuskartoitus tuotti lisätietoutta kasvilajimäärän vaihtelusta kesantopelloilla.

MAVIN peltolohkokisterin tietoja käytettiin hankkeessa monipuolisesti ja hyödynnettiin myös uudella tavalla jo tilatutkimuksen otantaa suunniteltaessa. Mahdollisuudet ja menettelytavat kehittyivät hankkeen aikana. Mm.- huolellisella aineiston ennakkotarkastelulla voidaan otos kohdentaa haluttuihin lohkoihin esim. erityisen kauan nurmena olleisiin lohkoihin jos niin halutaan. Menettelytapa voi merkittävästi tehostaa maatalanäytteiden avulla tehtävää tutkimusta. Rekisteriainiestoa käytettiin muun muassa selvittämään HVP-lohkojen roolia viljelykierrossa ja lohkojen viljelyhistoriaa selvittäessä.

Jatkotutkimustarpeet –

Tulisi selvittää, kuinka kauan palkokasviseosnurmet pystyvät tuottamaan korkeita biomassasatoja lannoittamattomina. Kasvuston uusiminen on kustannus ja ympäristövaikutusten kannalta riskialtis vaihe. Typpilannoitusvaikutuksen kautta saatava esikasviarvo on taloudelliselta merkitykseltään niin pieni, että pitkäikäiset kasvustot olisivat todennäköisesti lyhytikäisiä kasvustoja suositeltavampia jos satomäärä ei voimakkaasti laske nurmen vanhetessa. Tuotannon kasvihuonekaasutaseet eri tyyppisillä tuotantoratkaisuilla tulisi laskea. Vaihtelu lohkojen välillä biomassasadossa oli suurta, mutta tarkastelu ei osoittanut vuoden ja alueen lisäksi muita satovaihtelua selittäviä tekijöitä. Säätietoja ei vielä pystytty yhdistämään satotuloksiin ja maalajitieto jäi aukkoiseksi. Maalajitietojen täydentäminen aineistoon olisi tarpeellista lohkojen viljavuustilanteen arvioimiseksi, ja säätietojen liittäminen voisi selittää satovaihtelua. Niiton, niittoajankohdan ja niitoksen poiskorjaamisen ympäristövaikutuksia tulisi tarkastella lähemmin myös kentäkokeissa. Niiton merkitystä kasvilajiston monimuotoisuuden edistäjänä kesantopelloilla pitäisi tutkia enemmän.

MAVI:n peltolohkokisterin tietojen käyttämisessä kehittyttiin ja tämä tulisi hyödyntää tulevaisuudessa maatala-aineistoja hyödyntävissä tutkimuksissa. Esimerkiksi peltomaan laatua tai kasvuston monimuotoisuutta selvittävissä tutkimuksissa tilanäytteiden keruu voitaisiin kohdentaa esimerkiksi yksipuolisesti viljalla olleisiin, monipuolisen viljelyn tai yksipuolisesti nurmiviljelyssä olleisiin lohkoihin.

Tulisi selvittää, kuinka uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön sekä ravinteiden kierrätykseen perustuvan ”ekotuotannon” brändäminen vaikuttaisi maatilalta myytävien lopputuotteiden hintaan ja biokaasuprosessin kannattavuuteen.

4. Hankeosapuolet ja yhteistyö

Näytteitä otettaessa tavatut viljelijät olivat valmiita yhteistyöhön ja pitivät HVP-peltojen hyödyntämisen kehittämistä hyvin tarpeellisenä.

Hankkeessa tarvittiin kasvintuotannon, ympäristönäkökulmien (ravinteiden huuhtoutuminen ja monimuotoisuus), korjuuteknologian, biokaasuntuotannon mittaamista sekä laboratorioanalytiikan ja biometrian tietämystä. Tarvittava osaaminen saatiin kootuksi MTT:n sisältä. Osallistuvina yksikköinä olivat Kasvintuotannon tutkimus, Kotieläintuotannon tutkimus sekä Palveluyksikkö. Oli erinomaista että biokaasuntuotantopotentiaalin mittaustekniikka kehittyi hankkeen aikana. Vuosina 2012 ja 2013 pystyttiin tekemään kaksi varsin kattavaa määrittämissarjaa. Hanke nivoutui muihin biokaasuntuotantoa tutkiviin hankkeisiin (mim. Bionurmi), joiden kanssa hanke on ollut tiiviissä yhteistyössä ja osaltaan täydentää ja kattaa moniulotteista tutkimuskenttää.

MAVIsta saatiin tarvittavat lohkotietoaineistot hyvin käyttöön. Hankkeessa oli useita kotimaisia ja ulkomaisia harjoittelijoita kenttätöitä tekemässä. Yhteistyö sujui kaiken kaikkiaan hyvin. Ohjausryhmä oli laaja ja sen monipuolinen tietämys toi merkittävän tietolähteen tutkimuksen toteutukseen.

Lähteet :

Eder, M. 2012. Biokaasulaitosten kannattavuustekijöitä. Suomessa 27.10.2012 pidetyn esitelmän moniste. 19 s.

Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. & Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 110: 266 – 278.

Niittymaa, V. 2014. EU vie vehnää ja tuo maissia. *Maaseudun Tulevaisuus* 27.1.2014 p. 7.

Taavitsainen, T. 2011. Biokaasuteknologian edistäminen Pohjois-Savossa – Kestävä uusiutuvan energian tuotanto ja ravinteiden kierrätys (BIOTILA –hanke). Liiketoimintaosa-alueen loppuraportti. *Envitecpolis*. 88 s.

Liite 1: Loppuraportin tiivistelmä

HOIDETTU VILJEMÄTÖN PELTO BIOKAASUKSI – biomassan sopivuus syötteenä ja korjuun vaikutukset tukiohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseen

HVP-BIOKAASUKSI MAKERA: Dnro 2619/312/2009

Managed uncultivated arable fields as a feed source for biogas plants – suitability and effect of meeting the objectives of the support programme.

Vastuuorganisaatio	MTT MTT Kasvintuotanto, Planta 31600 JOKIOINEN puh.029 5317547	Yhteyshenkilö: Erikoistutkija Oiva Niemeläinen fax
Osapuolet ja vastuuhenkilöt	Erikoistutkija Terho Hyvönen; MTT Kasvintuotanto Biometrikko Lauri Jauhiainen, MTT Kasvintuotanto Vanhempi tutkija Timo Lötjönen, MTT Kasvintuotanto Vanhempi tutkija Elina Virkkunen, MTT Kasvintuotanto Vanhempi tutkija Jaana Uusi-Kämpä, MTT Kasvintuotanto	
Kesto	1.1.2010 – 30.11.2013 Loppuraportti 28.2.2014	
Rahoitus	Kokonaiskustannukset MMM:ltä saatu kokonaisrahoitus Hankkeen toteuttajan oma rahoitus Muista julkisista lähteistä saatu rahoitus Muu rahoitus	857 930,82 euroa 330 000,00 euroa 512 930,82 euroa - euroa 15 000,00 euroa
Avainsanat	bioenergia, biokaasu, biomassa, ravinnehuuhtouma, korjuuteknikka, nurmibiomassa, ympäristö, ravinne, monimuotoisuus, uusiutuva energia	

Tiivistelmä

TAVOITTEET

Hankkeen tavoitteena oli pellonkäyttökategorioiden ”Hoidettu viljelemätön pello”, viherkesanto ja suojavyöhyke osalta selvittää: a) minkä suuruinen ja -laatuinen biomassa ao. pelloille muodostuu voimassa olevilla hoito-ohjeistuksilla, b) arvioida korjuukustannukset tehokkaimmilla korjuumenetelmillä, c) arvioida sadon korjuun vaikutukset ravinnevirtoihin ja huuhtoutumisriskeihin, d) arvioida ao. pellojen merkitystä kasvilajiston monimuotoisuudelle ja ekosysteemipalveluille, e) tuottaa ehdotuksia hoito-ohjeistukseksi mahdollisimman tehokasta biomassan tuotantoa varten siten, että samalla saavutetaan ao. ohjelmille asetetut muut tavoitteet.

TULOKSET

Maatiloilta haettiin kasvustonäytteitä eteläiseltä otanta-alueelta (Jokioisten ympäristö) ja pohjoiselta otanta-alueelta (Sotkamon ympäristö) vuosina 2010-2012 yhteensä 215 kpl. Kasvustonäytteet otettiin heinäkuun loppupuolen ja syyskuun alun välisenä aikana. Hehtaarisadon määrä vaihteli eri lohkoilla voimakkaasti. Niitetyn biomassan määrä vaihteli

välillä 1 300–10 300 kg kuiva-ainetta ha⁻¹. Keskisadot olivat 4608, 5118 ja 5606 kg ka ha⁻¹ vuosina 2010, 2011 ja 2012. Koko aineiston keskisato oli 4 990 kg ka⁻¹ (keskihajonta 1735 kg ka ha⁻¹). Satotulosten perusteella ryhmiteltynä korkeimman sadon antaneen neljänneksen biomassasadon alaraja oli 5650, 5977 ja 6819 kg ka ha⁻¹ eli sato oli ainakin alarajan suuruinen. Näytteen hakuajankohta ei vaikuttanut merkitsevästi biomassan määrään, mutta vuoden vaikutus biomassan määrään oli merkitsevä. Lisäksi eteläiseltä näytealueelta saatiin keskimäärin 530 kg ka ha⁻¹ suurempi sato kuin pohjoiselta näytealueelta. Pellon käyttöluokka (HVP-nurmi, viherkesanto tai suojavyöhykenurmi) tai lohkon ravinteisuus eivät vaikuttaneet merkitsevästi biomassan määrään. Lohkon ikä HVP-nurmena tai nurmiviljelyssä, lohkon koko eikä botaaninen koostumus eivät selittäneet biomassasadon vaihtelua. Sadosta oli keskimäärin 2/3 heinäkasveja ja 1/4 palkokasveja ja loput leveälehtisiä rikkakasveja. Maatilanäyteaineistosta tehdyissä metaanintuottopotentiaalimittauksissa metaanin tuotto oli keskimäärin 255 CH₄ m³ ton ka⁻¹. Keskisadolla 4 990 kg ka ha⁻¹ laskettuna keskimääräinen energiasato on noin 12.7 MWh ha⁻¹. Pintamaan (0–2,5 cm) fosforipitoisuus oli korkeampi kuin muokkauskerroksen (0–20 cm) fosforipitoisuus. Kasvilajiston monimuotoisuuden selvityksessä löydettiin yhteensä 174 kasvilajia. Kasvien lajimäärää oli sitä korkeampi mitä vanhempi oli tutkitun peltolohkon kasvusto, sekä lohkoilla, joilla oli avo-oja. Lajimäärää oli puolestaan sitä alhaisempi, mitä korkeampi heinien biomassa oli lohkoilla. Ainoa siementen lukumääriin vaikuttanut tekijä oli tutkimusalue.

Kenttäkokeet täydensivät maatilaineistoa. HVP-pellolle perustetussa korjuuajakokeessa otettiin yksi satoniitto kesäkuun lopulla, heinäkuussa ja elokuussa sekä Jokioisten kokeessa myös kasvukauden lopulla. Niitto myöhään kasvukaudella on ympäristövaikutusten ja korjuukustannusten kannalta suositeltavaa.

Jokioisiin ja Sotkamoon v. 2010 perustetussa kenttäkokeessa selvitettiin palkokasvien mm. rehuvoihenherneen (*Galega orientalis*) potentiaali biokaasusyötteen tuottamiseen. Kasvustoja hoidettiin HVP-ohjeiden mukaisesti. Timotei-puna-apila seoksen ja voherne-timoteiseosten satoisuus oli varsin samanlainen. Yhdellä satoniitolla saatiin 80-90 prosenttia kahden niiton kokonaissadosta. Yhdellä niitolla saatiin timotei-puna-apilasta 6500-8000 kg ka/ha vuosina 2011-2013. Jokioisissa tehtiin puna-apilan täydennyskylvö suorakylvönä HVP-nurmeen. Toukokuussa 2010 tehty täydennyskylvö (6 kg ha⁻¹) lisäsi vuosina 2011 ja 2012 biomassasadon täydennyskylvämättömän sadoista 2180 ja 1720 kg ka ha⁻¹ satoiin 5530 ja 6190 kg ka ha⁻¹. Vuonna 2013 määritettiin ao. palkokasvinurmen esikasvivaikutus heinänurmeen verrattuna. Kaurasta saatiin heinälohkolta 2410 kg ha⁻¹ ja apilantäydennys-kylvölohkoilta 2840 kg ha⁻¹ eli 18 prosenttia korkeampi sato. Kokeessa kauran typpilannoitus oli 40 kg N ha⁻¹. Kenttäkokeista otettujen timotei-puna-apila kasvustojen metaanintuottopotentiaali oli keskimäärin 298 CH₄ m³ ton ha⁻¹. Kolmen satovuoden keskisato kerran kasvukaudessa niitetystä timotei-puna-apilakasvustosta oli 7118 kg ka ha⁻¹ ja sen laskennallinen energiasato on 21,2 MWh ha⁻¹. Suurin energiasato saatiin kaksi kertaa kasvukaudessa niitetystä timotei-puna-apilakasvustosta – noin 28 MWh ha⁻¹. On otettava huomioon, että tavallisesti ruutukokeista saadaan selvästi suurempia hehtaarisatoja kuin käytännön viljelysiltä.

HVP-lohkojen biomassan *korjuukustannustarkastelussa* tarkasteltiin viittä urakointiin soveltuvaa korjuuketjua. Niille laskettiin korjuun ja varastoinnin kustannukset. Biomassa varastoidaan biokaasulaitoksen pihaan silputtuna. Kuljetusetäisyys on 6 km. Edullisin korjuutapa oli ajosilppurin tekemän irtosilpun pakkaaminen 2,4 m:n tuubiin (54 e/ton ka) ja kalleinta säilöntä yksittäin käärittyihin pyöröpaaleihin (68 e/ton ka). Menetelmien väliset erot ovat pienet. Koneiden hehtaarikohtaiset kustannukset alenevat jyrkästi käyttömäärän kasvaessa 100 ha:sta 300 ha:iin vuodessa. Herkkystarkastelussa silppurikorjuun kustannukset ovat paalauskorjuuta alemmat lyhyillä ajomatkoilla ja vasta n. 25-30 km kuljetusetäisyydellä paalausketju tulee tarkkuussilppurikorjuuta edullisemmaksi. Hehtaarisadon lisääntyminen 4:stä 7 tonniin ka alensi kustannusta 4 – 6 e/ton ka. Sadon korjaaminen kahdessa erässä yhden korjuukerran sijasta kasvatti korjuukustannusta 5 – 8 e/ton ka. Käytetyssä mallissa on tuntipohjainen hinnoittelu, jolloin korjuukertojen lisääminen ei suuresti vaikuta tonnikohtaiseen korjuukustannukseen.

HVP-nurmeen perustuvan *biokaasulaitoksen kannattavuutta* selvitettiin suuntaa antavalla laskelmalla. Lähtöolettamukset: laitoskoko 500 kW:n sähköteho ja 1 MW lämpöteho, investointikustannukset 2,2 milj. e; korkotaso 5 % ja takaisinmaksuaika 15 v. HVP-nurmea laitos tarvitsisi sadolla 4 ton ka ha⁻¹ noin 830 ha. Laskelmassa käytettiin syöttötäriiffia (max 13,5 c/kWh) ja lämmön myyntihintaa 65 e/MWh. Biokaasulaitoksen kannattavuus on laskelman mukaan haasteelliselta, mutta ei aivan mahdoton. Lämpö olisi saatava myytyä täysimääräisesti, heinälle ei voida maksaa kantohintaa sekä korjuu- ja varastointikustannukset on saatava 55 eur/ton ka tuntumaan.

Biomassan saatavuustarkastelu

Lohkon koon perusteella luokitellun pienimmän neljänneksen ylärajan ja suurimman neljänneksen alarajan pinta-alat (ha) olivat: LHP-nurmi väh. 2 v. 0,38 ja 1,45 ha; viherkesanto 0,39 ja 1,61 ha, ja suojavyöhykenurmi 0,44 ja 1,45 ha. Yli 60 prosenttia pinta-alasta muodostuu kooltaan suurimman kvartaalin lohkoista. Suurimman kvartaalin luokkien pinta-alakertymä oli yli 78 000 ha luonnonhoitonurmella ja yli 27 000 ha viherkesannolla eli yhteensä runsaat 105 000 ha. Suojavyöhykkeiltä (7271 ha) kasvusto on poistettava vuosittain.

Yksittäisellä viljelijällä on LHP-nurmea ja viherkesantoalaa yhteensä keskimäärin 3,9 ha. Tilakoon suurimman neljänneksen tiloilla oli LHP-nurmea ja viherkesantoa yhteensä vähintään 7,3 ha. Kuinka pitkäksi biomassan kuljetusmatka muodostuisi biokaasulaitokselle? Hankkeessa kehitettiin laskentamalli jonka avulla voidaan tarkastella kuljetusmatkaa

biokaasulaitokselle, kun määritetään reunaehdot (lohkon minimikoko ja pellokäyttöluokka, laitoksen tarvitsema biomassamäärä). Lähtötietoina on MAVIn peltolohkokisteri pellonkäyttö- ja lohkon paikkatietoineen. Jos sato korjattaisiin vain suurimmilta viherkesanto ja luonnonhoitopeltonurmilohkoilta (lohkokoko suurempi kuin 1,45 ha) sekä koko suojavyöhykealalta niin energiasato nykykasvustoista olisi noin 1,4 TWh. Jos biomassaa haluttaisiin tuottaa viherkesanto ja LHP-nurmilla palkokasviseoksilla olisi mahdollisuus huomattavasti suurempaan kuiva-aine- ja energiasatoon.

TULOSTEN ARVIOINTI

Maatila-aineiston tuloksissa suuri lohkojen välinen vaihtelu sadon määrässä on keskeistä. Tulosten mukaan myös suuren biomassasadon tuottavia lohkoja on joukossa. Yksi niitto myöhään kasvukaudella antaa vuosittain tasaisimman ja suurimman kuiva-ainesadon ha:lle. Myöhäistä niittoa heinä- elokuun vaihteessa ja niitoksen korjaamista voidaan suositella, kun pyritään vähentämään talviaikaisia fosforihuuhtoumia. Myöhään niitetyssä kasvustossa jälkikasvuun jää vähiten huuhtoutumiselle alttiita ravinteita talveksi. Kasvilajistokartoituksen mukaan HVP-lohkoista on hyötyä kasvilajiston monimuotoisuudelle. Suurin lajiston monimuotoisuus on ei-heinävaltaisissa vanhoissa kasvustoissa. HVP-lohkoilla ei ole suurta merkitystä haitallisten vieraskasvien leviämisreittinä.

Tilanteeseen, jossa halutaan maksimoida HVP-lohkon biomassan tuotto suositellaan timotei-puna-apilaa. Myös puna-apilan täydennyskylvö LHP-nurmeen lisäsi huomattavasti biomassan tuottoa seuraavina vuosina ja lisäsi myös seuraavan viljakasvin satoa. Suojaviljaankin perustettaessa timotei-puna-apila pystyy tuottamaan korjattavan sadon jo ensimmäisenä nurmivuonna. Myös valmius timotei-puna-apilasadon hyödyntämiseen karjan rehuksi esim. satovahinkotilanteissa olisi hyvä. Jos puna-apilakasvustoa ei korjata, siitä saattaa vapautua runsaasti fosforia ja typpeä seuraavan talven ja kevään aikana. Jos HVP-nurmi olisi lyhykestoinen 2-3 vuotta niin silloin lopetusvuoden odelmasato ja biologisesti sidottu tyyppi voitaisiin hyödyntää kierrossa, eikä kasvustomassaa jäisi talvehtimaan. Palkokasvinurmien maan rakennetta ja muokkautuvuutta parantava vaikutus viljelykierrossa olisi etu kasvinviljelytiloille biologisen typensidonnan lisäksi. Kaksi korjuuta biomassan tuotantovuosina vähentäisi riskiä ravinteiden huuhtoutumisesta talvehtivasta odelmakasvustosta. Palkokasvinurmet kestivät tässä tutkimuksessa myöhäisen syysniiton ja tuottivat seuraavana kesänä hyvin.

Biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelussa viljelijöiden voisi olla perusteltua luopua HVP-heinästä ilmaiseksi, jos biokaasulaitos hoitaisi korjuun ja ravinteet palautettaisiin korvauksetta tilan peltolohkoille seuraavana kasvukautena. Erityisesti luomuviljelijöille tämä voisi olla hyvä vaihtoehto, koska tällöin he saisivat siirrettyä viherlannoitusvaikutusta HVP-lohkojen ulkopuolisille lohkoille. Korjuukustannuslaskelman mukaan 55 e/ton ka korjuu- ja varastointikustannukset ovat saavutettavissa, mikäli keskimääräinen ajomatka ei ole merkittävästi yli 6 km lohkojen ja biokaasulaitoksen välillä. Ympäristösyistä voisi olla perusteltua tukea biomassan korjuuta LHP-nurmelta, koska silloin nurmisadon ravinteet olisivat biokaasulaitoksen varastoissa ”turvassa” kasvukauden ulkopuolisen ajan, eivätkä alttiina huuhtoutumiselle tai haihtumiselle. Mikäli HVP-heinän korjuu biokaasun raaka-aineeksi saisi esimerkiksi 60 eur/ha suuruisen tuen, alenisivat esimerkkilaitoksen kustannukset noin 8 % tehden siitä lievästi kannattavan.

Lohkokoon suureneminen edesauttaa hehtaariohtaisten korjuukustannusten alenemista. Johtopäätelmänä lohkokotarkastelusta on, että valtaosa HVP-lohkojen kokonaispinta-alasta muodostuu kooltaan vähintään 1,45 ha, lohkoilta. Korjuukustannukset eivät olennaisesti alenisi lohkon koon suurenessa. Hankkeessa on kehitetty laskentamalli, jonka avulla voidaan kätevästi tarkastella biomassan saatavuutta biokaasulaitokselle kun reunaehdot (esim. lohkon minimikoko ja pellokäyttöluokka) ja laitoksen tarvitsema biomassamäärä määritetään. Lähtötietoina tarvitaan MAVIn lohkotietoa-aineisto pellonkäyttöluokkineen ja paikkatietoineen ja käyttäjän antamat oletusarvot hehtaarisadolle esim. HVP-lohkoilta tai viljan oljelle. Metaanituottopotentiaalimitauksissa saadut metaanisaannot HVP-lohkojen kasvustonäytteistä olivat hyviä. Suurimman kvartaalin lohkojen runsaan 105 000 ha:n pinta-alalla ja biomassan keskisadolla (4,99 ton ka ha⁻¹) ja metaanisaannolla 255 m³ CH₄/ton ka energiasato olisi noin 12,7 MWh ha⁻¹ ja bioenergiasato olisi 1,4 TWh jos hyödynnettäisiin lohkokooltaan suurimman neljänneksen ala Vertailuarvona mainittakoon, että maatalous- ja puutarhatilojen käyttämä sähköenergian määrä oli 1,7 TWh v. 2010. Jos biomassatuotannon määrä halutaan maksimoida, kuiva-ainesatoa ja energiasatoa voidaan kasvattaa käyttämällä nurmipalkokasviseoksia. Viljelijät olivat hankkeessa hyvin yhteistyöhaluisia ja kaipaavat ratkaisuja HVP-lohkojen sadon hyödyntämiseen. Heinäbiomassaa käyttävän biokaasuliiketoiminnan kannattavuuden parantamiseksi ideoidaan olisiko uusiutuvaa energiaa tuottava ja ravinteiden kierrätystä hyödyntävä tuotanto mahdollista brändätä omaksi tuotantotavaksi, jota harjoittava maatila voisi saada markkinoilta myyntituotteistaan (esim. vilja) hieman korkeampaa hintaa luomutuotannon tyyppisesti.

Julkaisut

Loppuraportin liitteenä.

Liite 2: Julkaisut ja käsikirjoitukset hankkeen MAKERA Dno 2619/312/2009 HVP-biokaasuksi loppuraporttiin

1. Julkaisut ja käsikirjoitukset

1. Tieteelliset julkaisut a. Ilmestyneet

LÖTJÖNEN, T. ja O. NIEMELÄINEN. 2014. Biokaasun raaka-aineen korjuukustannus HVP-lohkoilta. In: Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku. Maataloustieteen Päivät 2014. 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote . Painossa

NIEMELÄINEN, O., E. VIRKKUNEN, L. JAUHIAINEN JA T. LÖTJÖNEN. 2012. Kuinka paljon viherkestanto- ja hoidettu viljelemätön pelto –lohkoilla olisi satoa biokaasun tuotantoon? In: Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 6 p. [\[Url\]](#) Julkaistu 11.1.2012

UUSI-KÄMPPIÄ, J, TURTOLO, E., NÄRVÄNEN, A., JAUHIAINEN, L., UUSITALO, R. 2012. [Phosphorus mitigation during springtime runoff by amendments applied to grassed soil](#). Journal of Environmental Quality 41 2: 420-426. [\[doi\]](#) [\[url\]](#)

UUSI-KÄMPPIÄ, JAANA. 2012. [Jäätyminen lisää nurmikasvuston fosforihuuhtoumaa - kasvuston korjaaminen pienentää](#). In: Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 6 p.. [\[Url\]](#). Julkaistu 11.1.2012.

LÖTJÖNEN, T., NIEMELÄINEN, O. 2012. [Harvesting and storage alternatives for biomass feedstock from green fallow and nature management fields in Finland](#). In: Proceedings of the XVI International Silage Conference Hämeenlinna, Finland, 2-4 July 2012 / Edited by K. Kuoppala, M. Rinne and A. Vanhatalo. University of Helsinki. p. 466-467. [\[url\]](#)

b. Käsikirjoitukset

NIEMELÄINEN O. ym. Biomass on nature management fields, green fallows and buffer zones in Finland. I Dry matter yield. botanical composition and biodiversity.

NIEMELÄINEN O. ym. Biomass on nature management fields, green fallows and buffer zones in Finland. II Biogas and bioenergy production potential and harvesting possibilities..

HYVÖNEN, T. & NIEMELÄINEN, O. Importance of set-aside fields on ecosystem services supported by plant diversity.

NIEMELÄINEN, O. ym. Biomass production by legume mixtures in non fertilized conditions.

UUSI-KÄMPPIÄ, J., YLI-HEIKKILÄ, K., KASEVA, J., NIEMELÄINEN, O. 2014. Phosphorus and nitrogen losses to water after grass freezing and thawing.

2. Opinnäytetyöt

YLI-HEIKKILÄ, KATARIINA. 2012. MITIGATING AGRICULTURAL PHOSPHORUS LEACHING. The Effect of Timing in Grass Harvesting in Mitigating Wintertime Phosphorus Leaching. Bachelor's thesis. Tampere University of Applied Sciences. Degree Programme in Environmental Engineering. 61 p.

3. Ammattilehtiartikkelit

a. Ilmestyneet

NIEMELÄINEN, O. 2013. Luonnonhoitopellot sopivat energian lähteeksi. Maaseudun Tulevaisuus. Liite 4/2013. Maaseudun Tiede 16.12.2013. p. 12.

UUSI-KÄMPPIÄ, JAANA, YLI-HEIKKILÄ, KATARIINA, KASEVA, JANNE, NIEMELÄINEN, OIVA. 2012. [Nurmen niittoajankohta vaikuttaa vesistöjen fosforikuormitukseen](#). Maaseudun Tiede 69 3(22.10.2012): 17. [\[url\]](#)

NIEMELÄINEN, OIVA, JAUHIAINEN, LAURI, KESKITALO, MARJO. 2012. [Nurmet ovat samoilla](#)

[lohkoilla lähes vuodesta toiseen](#). Maaseudun Tiede 69 3(22.10.2012): 12. [\[url\]](#)

NIEMELÄINEN, OIVA, VIRKKUNEN, ELINA. 2011. [Luonnonhoitopellot tuottavat biokaasun raaka-ainetta](#). Maaseudun Tiede 68 3(24.10.2011): 3. [\[url\]](#)

VIRKKUNEN, ELINA. 2011. [Lähienergiaa kasvaa pellolla](#). Lähienergia : Kainuun bioenergian teemaohjelman tiedotuslehti 8: 5. [\[url\]](#)

b. Käsikirjoitukset

HYVÖNEN, T.& NIEMELÄINEN, O. Kesannointi lisää lajiston monimuotoisuutta. Maaseudun Tiede (kevään 2014 2. numero)

4. Esitelmät ja posterit

NIEMELÄINEN, OIVA, VIRKKUNEN, ELINA, JAUHIAINEN, LAURI, LÖTJÖNEN, TIMO. 2012. [Kuinka paljon viherkesanto- ja hoidettu viljelemätön pelto -lohkoilla olisi satoa biokaasun tuotantoon?](#) In: Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritiivistelmät / Toim. Nina Schulman. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 29: p. 143. [\[url\]](#)

NIEMELÄINEN, O. 2014. Timotei-puna-apila on satoisa lyhytkestoisiin HVP-nurmiin. In: Toim. Risto Kuisma, Nina Schulman, Hanna-Riitta Kymäläinen ja Laura Alakukku. Maataloustieteen Päivät 2014. 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote . Painossa

UUSI-KÄMPPÄ, J. 2011. *'Biomass harvesting decreases phosphorus runoff from frozen and thawed grass fields'* Unkarin COST 869-kokoukseen (12.-14.10.2011).

UUSI-KÄMPPÄ, JAANA. 2012. [Jäätyminen lisää nurmikasvuston fosforihuuhtoutumaa - kasvuston korjaaminen pienentää](#). In: Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmä- ja posteritiivistelmät / Toim. Nina Schulman. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 29: p. 93. [\[url\]](#)

UUSI-KÄMPPÄ, JAANA. 2012. [L04: Phosphorus losses in surface runoff from frozen and thawed grass](#). In: 8th international conference. Contaminants in Freezing Ground (CFG8). 22-26 April, 2012 - Obergurgl/Tyrol, Austria. Programme and Abstracts / Edited by R. Margesin and F. Schinner. p. 20.

UUSI-KÄMPPÄ, J. 2012. Phosphorus losses in surface runoff from frozen and thawed grass. Contaminants in Freezing Ground (CFG8), 22-26 April, 2012 Obergurgl/Tyrol, Austria (Esitelmä)

UUSI-KÄMPPÄ, JAANA, YLI-HEIKKILÄ, KATARIINA, KASEVA, JANNE, NIEMELÄINEN, OIVA. 2013. [Grass cutting date affects phosphorus release to runoff from frozen and thawed regrowth](#). In: Proceedings of the 7th International Phosphorus Workshop, IPW7, Uppsala, Sweden, 9-13 September 2013: Programme and Book of Abstracts. SLU. p. 151. [\[url\]](#)

5. Muut tuotokset

Proceduuri kuvata esim. biomassaresurssin saatavuutta eri alueilta MAVIn peltolohkokisteritietojen avulla. Lehdistötiedote 1.8.2010.

KUUSSAARI, M., HELIÖLÄ, J., KOSKIAHO, J., RANKINEN, K., HYVÖNEN, T., LILJA, H., UUSI-KÄMPPÄ, J., TIAINEN, J. 2014. Ympäristötuen monivaikutteisten toimenpiteiden integroitu tarkastelu. In: MYTVAS 3 –loppuraportti.
Esitelmät:

LÖTJÖNEN, TIMO, KÄSSI, PELLERVO. 2013. [Oljen ja vihreän biomassan korjuuketjut ja kustannukset](#).

YLI-HEIKKILÄ, KATARIINA. 2012. [Mitigating agricultural phosphorus leaching : the effect of timing in grass harvesting in mitigating wintertime phosphorus leaching](#). 61 p.

UUSI-KÄMPPÄ, JAANA. 2011. [Biomass harvesting decreases phosphorus runoff from frozen and thawed grass fields](#). In: Final conference of COST Action 869: Mitigation Options for Nutrient Reduction in Surface Water and Groundwaters, Keszthely, Hungary, 12-14 October 2011. p. 60.